

TRABAJO FIN DE GRADO



INTEGRACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales
Departamento de Ingeniería Eléctrica

David Martín Escolar
Tutor: Fernando Soto Martos

Leganés, Junio de 2016

Resumen

En una sociedad en constante revolución tecnológica, las preocupaciones medioambientales crecientes hacen que el desarrollo sea sostenible tanto económicamente como medioambientalmente. El vehículo eléctrico, como parte de este desarrollo sostenible, está dando los pasos iniciales de lo que será una revolución en la industria del automóvil. Y es un reto de nosotros, los ingenieros, saber controlar su integración de manera que sea lo más favorable posible.

El objetivo principal del TFG es el análisis de los distintos impactos que la progresiva integración del vehículo eléctrico tendría sobre el sistema eléctrico, en concreto sobre:

- Operación del sistema eléctrico. Medidas que engloban al VE que permiten optimizar la operación del sistema.
- Aportación de las energías renovables al mix de generación, analizando los escenarios que pueden causar mayor penetración de generación renovable en el sistema, como la discriminación horaria o la comunicación bidireccional entre vehículo y sistema.
- Precio de la electricidad. Posibles variaciones en la componente dependiente del mercado eléctrico a causa de la penetración del VE.
- Impacto sobre la red, analizando los efectos de recargas responsables y no responsables con la optimización de la red actual en cuando a capacidad de generación, red de transporte y en especial, en la red de distribución, donde las necesidades de inversión podrían ser mayores.
- Consecuencias medioambientales de la sustitución de los combustibles fósiles por la electricidad en el transporte por carretera.

Para tener capacidad objetiva de análisis, previamente se ha estudiado:

- Estructura y operación del sistema eléctrico. Gestión de la demanda.
- Formación del precio de la electricidad y mix energético. Mercados eléctricos.
- Infraestructura de recarga, que engloba tipos de conectores del vehículo con la red, modos y tipología de la recarga.
- Tecnología del vehículo eléctrico, donde se estudia el motor eléctrico, el estado del arte de las baterías, comparativa de comportamiento, eficiencia y amortización.

Finalmente, se ha realizado una síntesis del marco regulatorio actual referente al vehículo eléctrico, donde se incluyen las subvenciones a la compra.

Se ha desarrollado una aplicación informática a partir del lenguaje VBA que simula el impacto del VE en la curva de demanda, a partir de una selección de número de vehículos, distribución horaria de la recarga, potencia y velocidad de recarga, simultaneidad, entre otros. Adicionalmente, se ofrece una comparación económica y medioambiental a partir de datos de consumo, tarifas eléctricas y coste de combustible. La aplicación se adjunta junto a la presente memoria.

Abstract

In a society in constant technological revolution, growing environmental concerns make that development is both economically and environmentally sustainable. The electric vehicle as part of this sustainable development, is taking the initial steps of what will be a revolution in the automotive industry. And it is a challenge for us, engineers, know how to control their integration so that it is as favorable as possible.

The main objective of the TFG is the analysis of the various impacts that the progressive integration of electric vehicles would have on the electrical system, in particular on:

- Operation of the power system. EV encompassing measures to optimize the system operation.
- Contribution of renewable energy to the generation mix, analyzing scenarios that can cause greater penetration of renewable generation in the system, such as time discrimination or bidirectional communication between vehicle and system.
- Electricity price. Possible variations in the dependent component of the electricity market because of the penetration of EV.
- Impact on the grids, analyzing the effects of recharges responsible and not responsible to the optimization of the current grid when generation capacity, transmission grid and especially in the distribution grid where investment needs could be higher.
- Environmental consequences of replacing fossil fuels for electricity in road transport.

To be objective analysis capacity, it has previously been studied:

-
- Structure and operation of the electrical system. Demand management.
- Training price of electricity and energy mix. electricity markets.
- Recharging infrastructure, which includes vehicle types of connectors with the network, modes and types of recharge.
- Technology electric vehicle where the electric motor is studied, the state of art batteries, comparative performance, efficiency and amortization.

Finally, there has been a synthesis of the current regulatory framework regarding the electric vehicle, where purchase subsidies are included.

It has developed a software application from VBA language that simulates the impact of VE in the demand curve, from a selection of number of vehicles, time distribution of recharge, power and recharge rate, concurrency, among others. Additionally, it provides an economic and environmental data comparison from consumer electricity rates and fuel costs. The application attached with herein.

Índice General

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN	9
1.1 Objetivos del TFG.....	9
1.2 Alcance y contenido del proyecto	10
2 CONTEXTO VEHÍCULO ELÉCTRICO	11
2.1 Modelo energético	11
2.2 Sector transporte.....	13
2.3 Cambio de mentalidad.....	15
2.4 Argumentos para la introducción del VE	16
3 SISTEMA ELÉCTRICO.....	18
3.1 ¿Qué es el Sistema Eléctrico?.....	18
3.2 Etapas.....	18
3.2.1 Generación	19
3.2.2 Red de transporte.....	20
3.2.3 Red de distribución.....	21
3.3 Mercado eléctrico.....	22
3.3.1 Comercialización	23
3.3.2 Mercados de la energía	23
3.3.2.1 Mercado a plazo	23
3.3.2.2 Mercado diario.....	24
3.3.2.3 Mercados intradiarios.....	25
3.4 Consumo	26
4 OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL	27
4.1 Introducción	27
4.2 Gestión de la demanda	28
4.3 Centros de control	31
5 ANÁLISIS TECNOLÓGICO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	32
5.1 Introducción	32

5.2 Elementos del vehículo eléctrico	32
5.3 Motor eléctrico.....	33
5.3.1 Comportamiento y frenada del motor eléctrico	35
5.3.2 Comparación de funcionamiento motor eléctrico vs. motor de combustión interna	38
5.4 Baterías	39
5.4.1 Principio de funcionamiento	39
5.4.2 Tipos de baterías	40
5.4.3 Requisitos de las baterías para uso en vehículos eléctricos	41
5.4.4 Líneas de investigación y barreras tecnológicas.....	42
5.5 Eficiencia vehículo eléctrico	44
5.6 Amortización vehículo eléctrico.....	45
6 INFRAESTRUCTURA DE RECARGA	46
6.1 Introducción	46
6.2 Tipos de conectores.....	46
6.2.1 Conector doméstico	46
6.2.2 Conector Tipo 1	46
6.2.2 Conector Tipo 2	47
6.2.3 CHAdeMO.....	47
6.2.4 CCS.....	48
6.3 Velocidades de recarga.....	48
6.3.1 Recarga lenta.....	49
6.3.2 Recarga normal	49
6.3.3 Recarga semirrápida.....	50
6.3.4 Recarga rápida.....	50
6.4 Tipos de recarga	50
6.4.2 Recarga vinculada.....	50
6.4.3 Recarga de oportunidad	50
6.5 Tipología de la infraestructura	50
6.5.2 Infraestructura pública	50
6.5.3 Infraestructura privada	51
6.6 Gestores de carga	52
6.7 Modos de recarga.....	52
6.7.1 Modo 1	52
6.7.2 Modo 2	52
6.7.3 Modo 3	52
6.7.4 Modo 4	53
7 IMPACTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	54
7.1 Impacto en la operación del sistema eléctrico	54
7.2 Integración de las energías renovables	56
7.2.1 Caso singular de la energía eólica	56
7.2.2 Funcionamiento bidireccional del vehículo eléctrico	57

7.3	Impacto en la Red eléctrica.....	59
7.3.1	Consecuencias de la recarga no responsable en la red de distribución	61
7.4	Impacto económico en el precio de la electricidad	65
7.4.1	Precio voluntario del pequeño consumidor (PVPC)	65
7.4.2	Formación del precio de la electricidad y del mix energético	68
7.5	Impacto en el Medio Ambiente. Electricidad como combustible	70
7.6	Evolución de ventas de vehículos eléctricos enchufables.....	74
8	MARCO REGULATORIO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	77
9	APLICACIÓN INFORMÁTICA “SIMULADOR IMPACTO VE”	84
9.1	Caso de estudio (I) con herramienta desarrollada “Simulador del impacto del VE”	84
9.2	Caso de estudio (II) con herramienta desarrollada “Simulador del impacto del VE”	86
10	CONCLUSIONES PRINCIPALES Y LÍNEAS FUTURAS	89
11	PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN.....	92
12	PRESUPUESTO	94
13	BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXO I – HERRAMIENTA INFORMÁTICA.....		97
Manual de usuario de la Aplicación		97
Diseño		105

Índice de Figuras

Figura 2.1 Dependencia de las importaciones	11
Figura 2.2 Crecimiento anual de la demanda 2015.....	12
Figura 2.3 Consumo de energía total en la UE27	14
Figura 2.4 Consumo de energía final en España	14
Figura 2.5 Evolución interanual del consumo de carburantes.....	15
Figura 2.6 Evolución precio carburantes 2011-2016.....	15
Figura 3.1 Esquema del sistema eléctrico español.....	18
Figura 3.2 Instalaciones de la red de transporte en España	21
Figura 3.3 Evolución del precio de la electricidad para el año siguiente	24
Figura 3.4 Curvas agregadas de oferta y demanda en OMIE	25
Figura 3.5 Precio horario del mercado diario a día 02/02/16	25
Figura 3.6 Curvas de consumo según sectores	26
Figura 4.1 Curva de demanda nacional	27
Figura 4.2 Curva demanda a día 13/08/15	28
Figura 4.3 Curva demanda a día 11/11/15	28
Figura 4.4 Curva demanda aplicando reducción de consumo	28
Figura 4.5 Desplazamiento del consumo a horas valle	29
Figura 4.6 Curva demanda aplicando llenado de valles	30
Figura 5.1 Regiones de funcionamiento de un motor asíncrono.....	36
Figura 5.2 Regiones de funcionamiento de un motor síncrono.....	37
Figura 5.3 Comparación par-potencia-rpm entre el Nissan Leaf y el Nissan 1.6 de gasolina.....	38
Figura 5.4 Curvas potencia, par, consumo específico de un MCI	39
Figura 5.5 Proceso carga y descarga de una batería	39
Figura 5.6 Evolución de los costes de baterías desde 2005 a 2014	42
Figura 5.7 Comparativa de amortización de un VE	45
Figura 6.1 Conector Tipo 1 SAE J1772	46
Figura 6.2 Conector Tipo 2 Mennekes.....	47
Figura 6.3 Conector CHAdeMO	47
Figura 6.4 Conector CCS	48
Figura 6.5 Fases de recarga de una batería Ion-Litio	48
Figura 6.6 Curva de recarga con conector CHAdeMO.....	49
Figura 6.7 Mapa parcial de puntos de recarga públicos en Madrid.....	51
Figura 7.1 Curva demanda verano	54
Figura 7.2 Curva demanda invierno	54
Figura 7.3 Caso A (invierno).....	55
Figura 7.4 Caso A (verano).....	55
Figura 7.5 Caso II (invierno)	55
Figura 7.6 Caso II (verano)	55
Figura 7.7 Generación eólica, aportación a la demanda y relación con la potencia eólica instalada a 30/05/16	57
Figura 7.8 Potencia sobrante a día 13/01/16.....	59
Figura 7.9 Incremento en los costes de inversión debido a la penetración del VE	62
Figura 7.10 Incremento en los costes de inversión en la red de distribución	63
Figura 7.11 Ejemplo de curva de demanda de un centro de transformación	64

Figura 7.12 Cotización PVPC a día 16/03/16	66
Figura 7.13 Media mensual precio mercado diario	68
Figura 7.14 Tecnologías óptimas en función de su tipología y sus horas de funcionamiento al año.....	69
Figura 7.15 Curva de oferta de electricidad del mercado	70
Figura 7.16 Generación libre de CO ₂ total en 2015 (MW)	72
Figura 7.17 Evolución de las emisiones de CO ₂	72
Figura 7.18 Ventas mensuales en Europa 2015	75
Figura 7.19 Ventas mensuales mundiales en 2015	75
Figura 7.20 Variación porcentual de ventas por territorios.....	76
Figura 7.21 Crecimiento de ventas de vehículos eléctricos enchufables (2015)	76
Figura 7.22 Población y ventas de vehículos eléctricos enchufables.....	76
Figura 8.1 Esquema de una instalación colectiva con un contador principal y contadores secundarios individuales para cada estación de recarga.....	81
Figura 9.1 Resultados (PDF generado) Caso I.....	85
Figura 9.2 Curva demanda (PDF generado) Caso I	86
Figura 9.3 Resultados (PDF generado) Caso II	87
Figura 9.4 Curva demanda (PDF generado) Caso II	88
Figura 11.1 Diagrama de Gantt del TFG	93
Figura 0.1 Simulador Impacto VE I	97
Figura 0.2 Habilitar macros I.....	98
Figura 0.3 Habilitar macros II.....	98
Figura 0.4 Simulador Impacto VE II	98
Figura 0.5 Simulador Impacto VE III	99
Figura 0.6 Simulador Impacto VE IV	99
Figura 0.7 Simulador Impacto VE V	100
Figura 0.8 Simulador Impacto VE VI	101
Figura 0.9 Simulador Impacto VE VII	101
Figura 0.10 Simulador Impacto VE VIII	102
Figura 0.11 Simulador Impacto VE IX	103
Figura 0.12 Simulador Impacto VE X	103
Figura 0.13 Informe PDF generado I.....	104
Figura 0.14 Informe PDF generado II.....	105
Figura 0.15 Hoja de cálculo "Datos eléctricos" I.....	106
Figura 0.16 Hoja de cálculo "Datos eléctricos" II.....	106
Figura 0.17 Hoja de cálculo "Perfil demanda"	107
Figura 0.18 Hoja de cálculo "Datos compra"	107
Figura 0.19 Hoja de cálculo "Tarifa electricidad"	108

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Grado de autoabastecimiento español	12
Tabla 2.2 Consumo energía primaria hasta 11/2015	13
Tabla 2.3 Kilómetros medios recorridos al año por los vehículos para uso personal....	16
Tabla 3.1 Potencia nacional instalada a 31/12/15	19
Tabla 3.2 Características de operación por tecnologías.....	20
Tabla 5.1 Resumen características baterías	41
Tabla 5.2 Pérdidas globales vehículo eléctrico.....	45
Tabla 7.1 PVPC Promedio 2015	67
Tabla 7.2 Coste de una recarga de 25 kWh	67
Tabla 7.3 Coste por kilómetro	67
Tabla 7.4 Histórico de normativa Euro sobre emisiones contaminantes en turismos 1993-actualmente	71
Tabla 7.5 Límites de emisiones Euro 6	71
Tabla 7.6 Descomposición de emisiones.....	74
Tabla 8.1 Periodos tarifarios recogidos en el RD 647/2011, de 9 de mayo	78
Tabla 8.2 Plan MOVEA 2016	83
Tabla 12.1 Presupuesto del proyecto.....	94

1 Introducción

1.1 Objetivos del TFG

Partiendo del contexto económico, social y ambiental actual, es necesario entender las razones y los escenarios que provocarán la progresiva sustitución del vehículo tradicional por el vehículo eléctrico. Esta sustitución no será simple, ya que los millones de vehículos en circulación afectan a numerosos sectores. La integración del vehículo eléctrico tendrá su efecto más inmediato en el sistema eléctrico. Los objetivos del TFG son:

- Analizar y comprender en detalle las principales consecuencias del impacto del vehículo eléctrico en el sistema eléctrico.
 - Impacto en la operación del sistema eléctrico.
 - Integración de las energías renovables.
 - Impacto en la red eléctrica de recargas agresivas/no agresivas para el sistema. Potencia disponible, transporte, transformación y distribución.
 - Impacto económico en el precio de la electricidad.
 - Consecuencias en el medio ambiente de la utilización de la electricidad como combustible.
- Desarrollo de una herramienta informática que simule y genere un informe sobre el impacto del vehículo eléctrico en la curva de demanda, el impacto económico y medioambiental.
- Estudio del estado del arte de la infraestructura de recarga y del vehículo eléctrico:
 - Evolución de baterías y tecnología del motor eléctrico.
 - Tipología de la infraestructura. Conectores y modos de recarga estandarizados.
- Recopilación del marco regulatorio referente al vehículo eléctrico en España.

1.2 Alcance y contenido del proyecto

En primer lugar, se introduce el contexto de desarrollo del vehículo eléctrico, ya que son varias las razones que motivan su uso. En concreto, un cambio de mentalidad durante los últimos años que orienta las políticas hacia la descarbonización de la economía. [Ver Capítulo 2.](#)

En segundo lugar, se estudian los parámetros base del sistema eléctrico en sus principales puntos: generación, red de transporte y red de distribución. Adicionalmente, se explican la composición del mercado eléctrico, la comercialización de la electricidad y los estándares de consumo por sectores. [Ver Capítulo 3.](#) Acompañando al estudio del sistema eléctrico, se analiza la operación del mismo, las peculiaridades de la gestión de la demanda y los centros de control dedicados a esta tarea en España. [Ver Capítulo 4](#)

En tercer lugar, se introduce el estado del arte del vehículo eléctrico, especialmente de las baterías y del motor eléctrico. La eficiencia del VE y la amortización de su compra, así como el comportamiento del motor eléctrico se incluyen en este análisis. [Ver Capítulo 5.](#)

En cuarto lugar, se detalla la infraestructura de recarga del VE, donde se incluyen las distintas tecnologías de conectores, las velocidades de recarga estándar, los modos de recarga según el tipo de comunicación entre vehículo y conector, la tipología de la infraestructura y las opciones de recarga pública y privada. Por último, se explica la figura del gestor de cargas. [Ver Capítulo 6.](#)

El objetivo principal de este TFG es estudiar el impacto que supondrá el vehículo eléctrico enchufable en el sistema eléctrico en general, y en áreas claves como la operación del sistema, la red de distribución, el precio de la electricidad, las energías renovables o el medio ambiente en particular. Adicionalmente, se estudia la evolución en ventas a nivel mundial. [Ver Capítulo 7.](#)

Con el propósito de completar el marco del VE en todos sus contextos, se analizan y resumen las principales normativas que afectan a su desarrollo, así como de las ayudas que otorga el estado a su compra. [Ver Capítulo 8.](#)

A través de la aplicación desarrollada, cuyo manual de usuario y diseño se muestra en el Anexo I ([ver Anexo I](#)), se simulan dos casos representativos que comprueban algunas de las conclusiones expuestas a lo largo del TFG. [Ver Capítulo 9.](#) **Adjunto a la presente memoria, se encuentra el archivo con la herramienta informática desarrollada “Simulador del impacto del vehículo eléctrico”.**

Para finalizar, se resumen las principales conclusiones obtenidas a partir de la redacción del TFG, y se ofrece una visión personal sobre la realización del mismo y de las líneas futuras de investigación. Para completar el TFG, se detalla el presupuesto de su realización, [ver Capítulo 12](#), la planificación que ha conllevado su redacción, [ver Capítulo 11](#), y la bibliografía consultada, [ver Capítulo 13](#).

2 Contexto vehículo eléctrico

2.1 Modelo energético

El modelo energético actual ha llevado a la sociedad a alcanzar altos niveles de desarrollo y confort, a la vez que grandes problemas medioambientales. La causa es un modelo en el que predomina la obtención de energía por medio de la combustión de fósiles como el carbón, el gas o el petróleo.

Dada esta situación, la Unión Europea hace frente al problema marcando tres objetivos:

1. La competitividad de la economía de la UE frente a la crisis económica global.
2. Una política medioambiental centrada en la reducción de los gases de efecto invernadero.
3. La reducción de la dependencia de combustibles fósiles del exterior.

El modelo energético español se caracteriza por el gran peso de los combustibles fósiles y la dependencia exterior (ver Figura 2.1), cifrada en un 70%, en contraposición con la dependencia del conjunto de la Unión Europea, con un 53% de dependencia exterior.

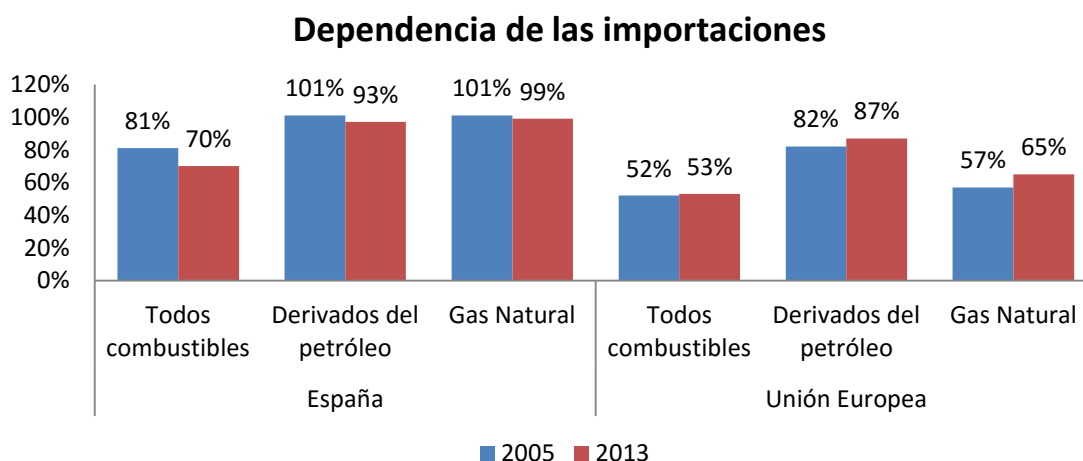


Figura 2.1 Dependencia de las importaciones (Fuente: State of the Energy Union, European Commission, Elaboración propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 2.1, el grado de autoabastecimiento de petróleo y gas natural en España es prácticamente nulo, por lo que cualquier reducción en el consumo de estas materias primas para beneficiar fuentes de energía de las que España disponga de total acceso, como son las renovables, conllevará un ahorro importante en el saldo de importaciones. Sin embargo, durante los últimos años, dado que las energías renovables han cobrado mayor importancia en el mix energético, se ha ido reduciendo progresivamente la dependencia energética exterior.

Grado de Autoabastecimiento	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Carbón	31,1	39,4	45,5	20,9	15,9	16
Petróleo	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7
Gas Natural	0	0	0,1	0,2	0,2	0,1
Nuclear	100	100	100	100	100	100
Hidráulica	100	100	100	100	100	100
Otras fuentes renovables	100	100	100	100	100	100

Tabla 2.1 Grado de autoabastecimiento español (Fuente: MINETUR, Elaboración propia)

La evolución del sector energético se ha visto condicionado por los últimos años de crisis económica nacional e internacional. La demanda eléctrica se ha reducido hasta alcanzar su mínimo en 2014 (243.544 GWh). A partir de ese momento, España ha experimentado un crecimiento económico que se ha traducido en un remonte de la demanda a través de un incremento en 2015 del 1,5 % anual respecto a 2014 (248.181 GWh en 2015).

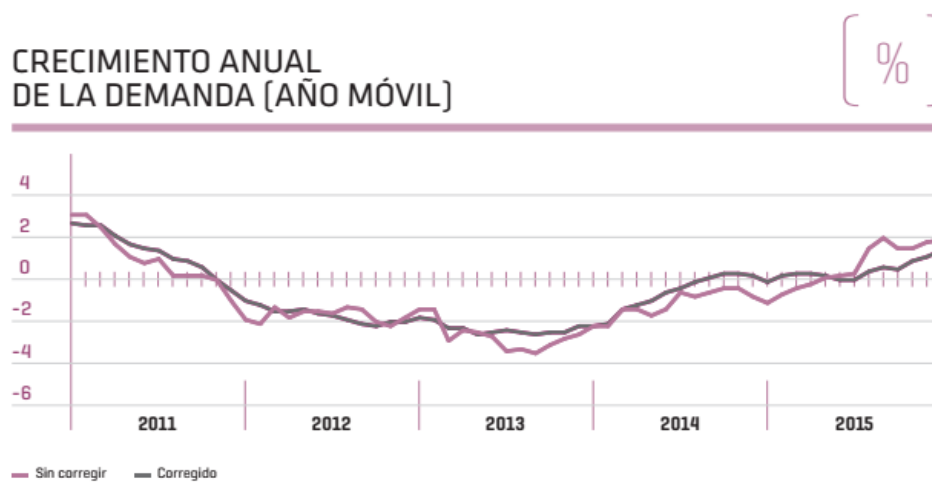


Figura 2.2 Crecimiento anual de la demanda 2015 (Fuente: Avance informe REE sistema eléctrico español 2015)

La integración de energías renovables ha seguido aumentando durante estos años, a pesar de la pequeña bajada sufrida al finalizar 2015 en favor de una mayor participación del carbón. A continuación se ofrece una tabla con el desglose del consumo de energía primaria en España, a final de 2015. Destaca el 23% de crecimiento del carbón con respecto al 2014, y la bajada del 6,4% de participación de energías renovables con respecto al mismo periodo.

Consumo energía primaria	TOTAL (ktep)	Composición	Δ 2015/14
Carbón	12.260	12,0%	23,0%
Petróleo	43.999	43,0%	4,3%
Gas Natural	19.843	19,4%	3,5%
Nuclear	12.524	12,2%	0,5%
Energías Renovables	13.631	13,3%	-6,4%
Hidráulica	2.354	2,3%	-17,8%
Eólica	3.545	3,5%	-2,1%
Biomasa	3.741	3,7%	-7,5%
Biomasa Térmica	2.855	2,8%	1,8%
Biomasa Eléctrica y Cogeneración	886	0,9%	-28,5%
Biogás	185	0,2%	-13,6%
Biogás Térmico	21	0,02%	8,0%
Biogás Eléctrico y Cogeneración	164	0,2%	-15,7%
RSU	170	0,2%	70,2%
Biocarburantes	847	0,8%	6,6%
Geotérmica	16	0,02%	3,2%
Solar	2.773	2,7%	-4,8%
Fotovoltaica	629	0,6%	-0,7%
Termoeléctrica	1.894	1,85%	-7,6%
Térmica	250,4	0,2%	8,4%
Residuos no Renovables	170	0,2%	42,6%
Saldo Eléctrico	-130	-0,1%	-53,4%
CONSUMO E. PRIMARIA 2015	102.298	100%	4,2%

Tabla 2.2 Consumo energía primaria hasta 11/2015 (Fuente: IDAE, Elaboración propia)

La integración del vehículo eléctrico plantea grandes avances en la búsqueda de un modelo energético más sostenible y eficiente, especialmente en el ámbito urbano.

2.2 Sector transporte

El sector transporte es responsable del 32,6% del consumo de energía en la Unión Europea, el cual depende casi en su totalidad de combustibles fósiles. En concreto, el sector transporte es causa del 25%¹ de las emisiones de CO₂, siendo el transporte por carretera el responsable del 94% del total del sector.

¹ Eurostat Database (Ver Bibliografía)

Descomposición por sectores del consumo de energía total en la UE (UE 27)

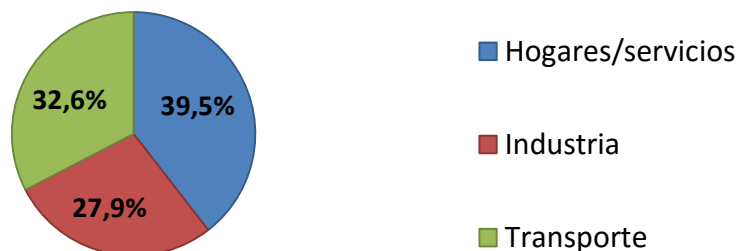


Figura 2.3 Consumo de energía total en la UE27 (Fuente: Eurostat, Elaboración propia)

En España la cifra es ligeramente superior, ya que el transporte representa el 43% del consumo energético, atribuyendo a este sector también un 25%² de las emisiones totales de CO₂.

Consumo de energía final en España

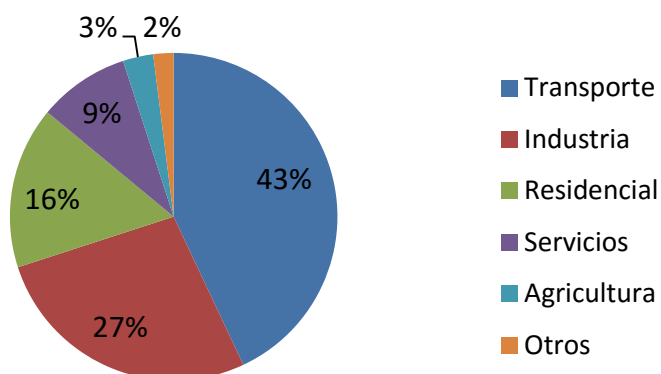


Figura 2.4 Consumo de energía final en España (Fuente: Endesa, Elaboración propia)

La importancia del transporte por carretera en el consumo de energía, en la economía y en las emisiones contaminantes, hace que sea un sector clave en la consecución de objetivos. En concreto, el vehículo eléctrico se presupone como uno de los principales alicientes para el cambio del sector hacia un modelo más sostenible y respetuoso medioambientalmente.

En la Figura 2.5, se observa como el consumo de carburantes de automoción, al igual que la demanda energética, tuvo un descenso acusado hasta 2014, para después aumentar en 2015. Una de las razones más importantes del aumento en el consumo de combustible ha sido la caída del precio del petróleo a mínimos históricos, lo cual afecta directamente al coste del combustible de automoción (Figura 2.6).

² MINETUR (Ver Bibliografía)

Evolución del consumo de combustibles de automoción en España

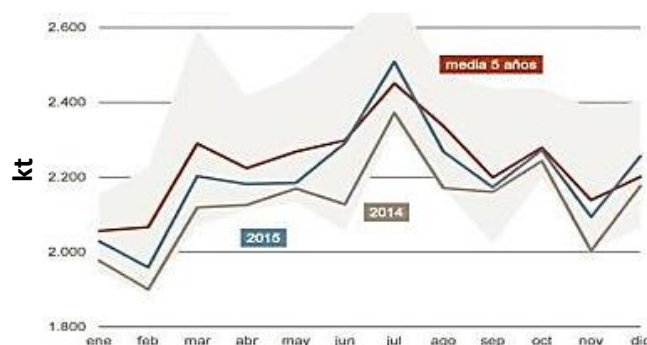


Figura 2.5 Evolución interanual del consumo de carburantes (Fuente: Cores)

Evolución del precio de los carburantes 2011-2016

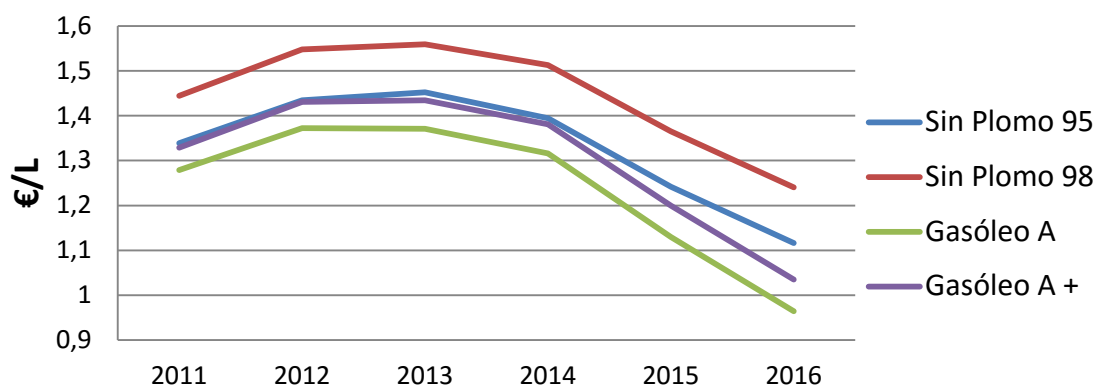


Figura 2.6 Evolución precio carburantes 2011-2016 (Fuente: Expansión, Elaboración propia)

2.3 Cambio de mentalidad

La reducción de contaminantes se ha convertido en el eje de las políticas energéticas mundiales, y en la Cumbre de París Contra el Cambio Climático (COP21) celebrada en 2015, se ha reafirmado el compromiso para conseguir la descarbonización de la producción de energía.

Gran parte de esta “conciencia limpia” se ha forjado a partir de que la problemática de la contaminación se haya hecho patente a nivel urbano, donde los altos niveles de emisiones contaminantes han empobrecido la calidad del aire, causado problemas respiratorios y el efecto visual de suciedad en el aire que provoca el “smog” sobre las ciudades, en gran parte provocado por las partículas de tamaño menor a 10 μm (PM₁₀) que emiten los motores diésel.

En el objetivo de reducir la contaminación a nivel urbano, surgen diversas soluciones como la descentralización de la industria, la sustitución del carbón por el gas natural en los sistemas de calefacción, nuevas legislaciones menos permisivas sobre contaminación en el transporte y la electrificación de los medios de transporte.

A día de hoy, el transporte electrificado se plantea como un campo con amplio margen de evolución el cual puede solucionar gran parte del problema medioambiental urbano. El transporte por carretera con motores convencionales supone el 99,8% del total.

2.4 Argumentos para la introducción del VE

Según los datos oficiales que publica el INE (Instituto Nacional de Estadística), un vehículo español de uso personal recorre al año, de media, 12.563 km (Tabla 2.3), lo cual resulta una media diaria de 34,4 km.

Esta cifra de **recorrido medio diario** hace del vehículo eléctrico una opción viable para los trayectos del día a día, dado que la mayoría de modelos disponibles tienen una autonomía de más de 100 kilómetros, suficiente para completar el recorrido medio diario, que predominantemente son trayectos urbanos (ir a trabajar, colegios, compras, etc.).

Kilometraje anual en España (km)	Total por vehículo	Media diaria por vehículo
TOTAL NACIONAL	12.562,9	34,4
Andalucía	10.126,6	27,7
Aragón	11.213,4	30,7
Principado de Asturias	11.238,3	30,8
Islas Baleares	11.370,6	31,2
Canarias	19.585,7	53,7
Cantabria	12.897,5	35,3
Castilla y León	11.361,5	31,1
Castilla -La Mancha	12.691,8	34,8
Cataluña	11.577,8	31,7
Comunidad Valenciana	12.301,3	33,7
Extremadura	9.991,6	27,4
Galicia	13.349,7	36,6
Comunidad de Madrid	15.699,6	43,0
Región de Murcia	13.240,2	36,3
Comunidad Foral de Navarra	12.678,3	34,7
País Vasco	11.568,1	31,7
La Rioja	10.736,7	29,4
Ceuta y Melilla	24.024,4	65,8

Tabla 2.3 Kilómetros medios recorridos al año por los vehículos para uso personal

(Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Elaboración propia)

El hecho de tener la tecnología adecuada para poder sustituir en las ciudades los vehículos de combustión interna por vehículos que no emiten gases contaminantes en su funcionamiento, es un enorme avance en la mejora de la **calidad de vida en las ciudades**, sin nombrar otros beneficios como la descontaminación acústica.

Hoy en día los problemas tecnológicos de **autonomía** se están resolviendo a grandes zancadas. Las baterías de ion-litio están aumentando la autonomía hasta los 150 kilómetros reales en la mayoría de los modelos y los precios de los vehículos eléctricos con altas prestaciones ya no son tan prohibitivos, como es el caso del Tesla Model 3 (2016), el cual tiene un coste de 35.000 \$ y está dotado con una autonomía de 350 km, convirtiéndose en la relación coste-autonomía de referencia en el sector. La evolución de las baterías fomentará el desarrollo de otras actividades como el autoconsumo o las redes inteligentes, conocidas como *Smart grids*.

El desarrollo de la **infraestructura de recarga** es esencial para la evolución del VE. La gran mayoría de los vehículos pasan más tiempo parados que en movimiento, y es en los periodos de tiempo en los que estén estacionados donde se deben dar todas las facilidades para la recarga. De este modo se simplificará el inconveniente de la autonomía.

Entre las **razones económicas** que animan al cliente potencial a decantarse por un vehículo eléctrico están:

- Ahorro económico por kilómetro recorrido.
- Ahorro en mantenimiento: no hay líquidos, simplicidad motor, no hay transmisión, menos piezas expuestas a desgaste, etc.
- La amortización de un VE respecto a un menor precio de combustible es un argumento de compra que tiene un claro precedente en la compra masiva de vehículos diésel, sustituyendo los motores gasolina, donde la situación era equivalente a la de hoy en día con el cambio de motores alternativos a eléctricos.
- Subvenciones y fiscalidad especial: Variaciones en los impuestos que graven a los vehículos tradicionales y eléctricos de manera distinta para favorecer su compra. El programa de subvenciones directas del Gobierno de España en 2016 es el Plan MOVEA, analizado en el Capítulo 8 (VI).

3 Sistema eléctrico

3.1 ¿Qué es el Sistema Eléctrico?

Un sistema eléctrico es un conjunto de elementos que opera de forma coordinada en un determinado territorio para satisfacer la demanda de energía eléctrica.

La energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades, obligando a generarla al mismo ritmo que se consume en cada instante. Es por ello que se necesita que exista continuidad en la generación eléctrica para su existencia. Esta continuidad es lo que define el circuito eléctrico. Esta característica hace que la disponibilidad de energía eléctrica, necesaria en nuestra sociedad, se consiga en base a un sistema de grandes dimensiones que abarque fuentes de generación de electricidad con diferentes energías primarias, subestaciones de transformación, líneas eléctricas de transporte y distribución, máquinas eléctricas, sistemas de protección, control y gestión, circuitos eléctricos dentro de las viviendas, comercios e industrias, etc., siendo el sistema eléctrico la razón por la que todos ellos estén interconectados entre sí.

3.2 Etapas

Como se indica en la Figura 3.1, el sistema eléctrico está dividido en una serie de etapas. En un primer lugar, la electricidad se crea en las centrales de generación a partir de unas materias primas o combustibles; a continuación en las subestaciones transformadores se eleva la tensión a valores denominados de “muy alta tensión” para poder transportar la energía con las menores pérdidas a través de la red de transporte. Conectados a la red de transporte se encuentran usuarios conectados directamente, por lo general grandes industrias, o estaciones transformadoras que disminuirán la tensión a valores de “alta”, “media” y “baja tensión” para que sea transportada a la gran mayoría de usuarios a través de la red de distribución.

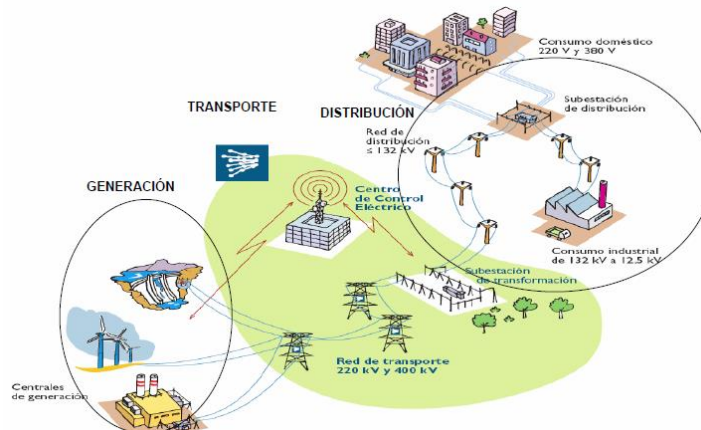


Figura 3.1 Esquema del sistema eléctrico español (Fuente: REE)

3.2.1 Generación

La energía eléctrica se obtiene a partir de diferentes tipos de energías primarias (carbón, gas, agua, viento, sol, combustible nuclear, etc.), mediante un proceso de transformación que da lugar a diferentes tipos de plantas productoras, tales como plantas de carbón, ciclos combinados, centrales hidroeléctricas, térmicas, nucleares, eólicas, solares, etc.

Se entiende como plantas de generación a aquellos agentes que producen energía eléctrica, independientemente del tipo de tecnología que utilicen para ello. La generación es una actividad liberalizada, lo cual permite a cualquier agente que cumpla unas especificaciones técnicas generar energía eléctrica. Esta es una de las razones por las cuales, como se detallará más adelante, en 2015 el sistema está con sobrecapacidad de producción.

La Tabla 3.1 muestra la potencia instalada en España a finales de 2015, según las distintas tecnologías.

POTENCIA INSTALADA A 31 DE DICIEMBRE

	Sistema peninsular		Sistemas no peninsulares		Total nacional	
	MW	% 15/14	MW	% 15/14	MW	% 15/14
Hidráulica	18.668	4,9	1	0,0	18.669	4,9
Nuclear	7.866	0,0	-	-	7.866	0,0
Carbón	10.972	0,0	510	0,0	11.482	0,0
Fuel / gas	0	-100,0	2.784	-0,2	2.784	-15,8
Ciclo combinado ^[1]	25.348	0,0	1.851	0,0	27.199	0,0
Hidroeléctrica	-	-	12	0,0	12	0,0
Resto hidráulica ^[2]	2.109	0,0	0,5	0,0	2.109	0,0
Eólica	22.845	0,0	158	0,0	23.003	0,0
Solar fotovoltaica	4.423	0,5	244	0,3	4.667	0,5
Solar térmica	2.300	0,0	-	-	2.300	0,0
Térmica renovable	984	0,0	5	0,0	989	0,0
Cogeneración y resto	7.098	0,0	121	0,0	7.219	0,0
Total	102.613	0,4	5.686	-0,1	108.299	0,4

[1] Incluye funcionamiento en ciclo abierto. En el sistema eléctrico de Canarias utiliza fuel y gasoil como combustible principal.

[2] Incluye todas aquellas unidades menores de 50 MW que no pertenecen a ninguna unidad de gestión hidráulica (UGH). // Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) en: resto hidráulica, eólica, solar fotovoltaica, solar térmica, térmica renovable y cogeneración y resto.

Tabla 3.1 Potencia nacional instalada a 31/12/15 (Fuente: Avance informe REE sistema eléctrico español 2015)

Cada tecnología cuenta con ventajas y desventajas. Por ejemplo, las energías renovables son energías que ayudan a proteger el medio ambiente, pero tienen un carácter intermitente (como consecuencia de las características naturales de las fuentes primarias) y son poco flexibles. Por su parte, las centrales de ciclo combinado pueden aportar soluciones rápidas en estas situaciones, pero emiten CO₂. Las centrales nucleares aportan gran seguridad de suministro y se utilizan como centrales de base, aunque exigen un nivel de seguridad mucho más elevado que otros tipos de centrales.

A continuación, en la Tabla 3.2, se muestra a modo de resumen, las principales características de operación de los distintos grupos de generación disponibles.

Tecnología	Horas/año funcionamiento	Emisiones	Seguridad de suministro		
			Técnica	Abastecimiento	Flexibilidad
Nuclear	8000	Nulas, pero residuos	Alta	Alta	Muy baja
Carbón	2000	Altas	Alta	Alta	Moderada
Ciclo combinado	2000	Moderadas	Alta	Alta	Alta
Eólica	2100	No	Alta	Baja	Nula
Hidráulica regulable	1500-2000	No	Alta	Alta	Muy alta
Hidráulica fluyente	1500-2000	No	Alta	Baja	Baja
Bombeo	1000-1500	Indirectas	Alta	Alta	Muy alta
Termosolar	2000	Muy bajas	Alta	Baja	Nula
Fotovoltaica	1600	No	Alta	Baja	Nula

Tabla 3.2 Características de operación por tecnologías (Fuente: Elaboración propia, Energía y Sociedad)

3.2.2 Red de transporte

En España, la red de transporte de electricidad está constituida por las líneas, los transformadores, las subestaciones y demás infraestructuras que se encuentren en tensiones desde los 400 kV a los 220 kV. Además, en los sistemas extra peninsulares, la red de transporte está comprendida entre los 220 kV y los 66 kV. A esto hay que añadir las conexiones entre las islas de Fuerteventura y Lanzarote y todas las conexiones entre las Islas Baleares, y sus conexiones con la Península.

La red de transporte es la encargada de transportar la electricidad desde los grupos generadores hasta la red de distribución. En concreto, une las estaciones transformadoras elevadoras de las centrales eléctricas con las subestaciones transformadoras reductoras conectadas a la red de distribución, además de aquellos usuarios que estén conectados en alta tensión.

Las subestaciones transformadoras cumplen tres funciones principalmente:

- Son los centros de interconexión donde confluyen distintas líneas a la misma tensión.
- Si la subestación dispone de transformador, son centros de transformación desde donde se eleva o se disminuye la tensión.
- Son los centros donde se instalan los elementos de protección y maniobra del sistema.

Subestaciones transformadoras elevadoras

Se ubican a la salida de las centrales generadoras y su misión es elevar la tensión de salida de dichas centrales, a un valor de tensión adecuado para el transporte de la energía eléctrica a alta tensión.

La tensión primaria de los transformadores suele estar entre 3 y 20 kV. La tensión secundaria está condicionada por la tensión de la red de transporte (66, 110, 220 ó 400 kV).

Subestaciones transformadoras reductoras

Son los centros de transformación desde donde se alimentan las líneas de distribución que llegan hasta el consumo. La tensión primaria de los transformadores depende de la tensión de la línea de transporte que llegue a la subestación (66, 110, 220 ó 400 kV). Mientras que la tensión secundaria de los transformadores está condicionada por la tensión de las líneas de distribución (entre 6 y 30kV, e incluso la baja tensión).

En la Figura 3.2 se muestran la longitud de las líneas que forman la red de transporte española al finalizar 2015, así como la capacidad de transformación. Como dato, según REE, hay más de 5000 subestaciones en España.

INSTALACIONES DE LA RED DE TRANSPORTE EN ESPAÑA

	400 kV	≤ 220 kV			
	Península	Península	Baleares	Canarias	TOTAL
Total líneas [km]	21.179	18.954	1.673	1.347	43.153
Líneas aéreas [km]	21.062	18.216	1.089	1.075	41.442
Cable submarino [km]	29	236	423	30	718
Cable subterráneo [km]	88	501	161	242	993
Transformación [MVA]	79.208	63	3.273	2.000	84.544

Datos de km de circuito y capacidad de transformación a 31 de diciembre de 2015.

Figura 3.2 Instalaciones de la red de transporte en España (Fuente: REE)

Transportista

Empresa que transporta la electricidad desde las centrales donde se produce hasta las subestaciones que conectan con la red de distribución.

La Ley 17/2007, de 4 de julio establece que en España, Red Eléctrica de España (REE) es el transportista único. Por tanto, REE es responsable del desarrollo, mantenimiento y ampliación de la red de transporte, de gestionar el tránsito de electricidad entre la península y los sistemas eléctricos extra peninsulares y de garantizar el acceso de terceros a la red de transporte en condiciones de igualdad.

3.2.3 Red de distribución

La red de distribución tiene como objeto el transporte de electricidad desde la red de transporte, o bien desde grupos generadores conectados a la red de distribución, hasta los consumidores finales. Está formada por toda aquella infraestructura (cables, transformadores, edificios, protecciones, etc.) que se encuentren por debajo de los 220 kV, salvo los sistemas extrapeninsulares, donde su tensión es menor de 66 kV. Estos parámetros quedaron definidos en la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.

Subestaciones de distribución

Transforman los valores de tensión de llegada de la red de distribución (media tensión) a valores aptos para el consumo, lo que se denomina baja tensión. Los valores de salida de estas instalaciones suelen ser de 380 V ó 220 V. Los centros de transformación son generalmente propiedad de la compañía eléctrica distribuidora.

Distribuidores

Los distribuidores son aquellas compañías cuya función es distribuir la energía eléctrica desde las redes de transporte hasta los puntos de consumo, así como construir, mantener y operar las instalaciones de distribución, y de gestionar la red de distribución que posean.

La distribución es una actividad regulada, donde se ha impedido que las empresas distribuidoras sean las mismas empresas que las encargadas de la comercialización. Se reparten la actividad por territorios donde únicamente puede haber un distribuidor. Algunos ejemplos de empresas distribuidoras son Endesa Distribución Eléctrica, Iberdrola Distribución Eléctrica o Gas Natural Fenosa.

3.3 Mercado eléctrico

La energía eléctrica generada tiene que llegar a los consumidores finales bien directamente o bien mediante una comercializadora. Los intercambios de energía eléctrica, así como los distintos contratos que permiten acceder a esa energía componen el mercado eléctrico. Actúan los agentes que a continuación se detallan:

- Las plantas de generación ponen precio a la energía que producen.
- Las compañías comercializadoras, presentan en el mercado ofertas por la energía que han previsto que necesitarán sus clientes.
- Los clientes de las comercializadoras, los cuales contratan un servicio de entrega de electricidad.
- Los usuarios de las interconexiones, previa autorización, pueden comprar y vender energía internacionalmente atendiendo, entre otros factores, a la capacidad de la red de interconexión. Actualmente España está interconectada con Portugal, Marruecos y Francia. Entre las ventajas que aportan las interconexiones al sistema eléctrico español están un abaratamiento del precio de la energía y una salida a la gran producción de energía renovable instalada en España.
- Consumidores directos pueden acudir a comprar energía directamente al mercado, sin intermediar una comercializadora, si su volumen energético es lo suficientemente grande.

3.3.1 Comercialización

La comercialización es la actividad llevada a cabo por los comercializadores de energía eléctrica, que son aquellas sociedades cuyas funciones son:

- Adquirir energía en el mercado de producción.
- Contratar el acceso a las redes de transporte y distribución mediante el pago del peaje de acceso.
- Ofertar la energía a los clientes, los cuales pueden elegir entre:
 - Un suministro de referencia, que puede ser:
 - PVPC (ver Capítulo 7.4.1).
 - Precio fijo anual en mercado regulado.
 - Un contrato en el mercado liberalizado, en el cual se contrata directamente el acceso a las redes con el distribuidor y a la energía con el comercializador.
- Proveer a sus clientes de una facturación mensual o bimensuales (según acuerdo pactado) en base a las lecturas que le facilite el distribuidor. El comercializador debe informar al cliente del origen de la electricidad (mix energético) y de su impacto medioambiental.

Esta actividad también se encuentra regulada a través de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. Algunos ejemplos de comercializadores son Gas Natural Fenosa Comercializadora o Endesa Clientes.

3.3.2 Mercados de la energía

Los contratos de intercambio de energía se producen desde pocos minutos antes del momento de la generación o del consumo, hasta con años de antelación; por tanto, España dispone de una serie de mercados que regulan estas operaciones.

3.3.2.1 Mercado a plazo

El contrato es realizado desde tres años hasta dos días antes del suministro de la energía. Se diferencian dos tipos de mercado a plazo:

A. Mercado no organizado de contratos bilaterales, conocido como **OTC** (Over The Counter)

Contrato establecido directamente entre un grupo generador y un agente de mercado. Puede producirse un contrato con intercambio de energía o un contrato de liquidación financiera sin intercambio de energía. En el caso del contrato de liquidación financiera, las partes involucradas pactan una cobertura de riesgo ante la variación del precio de la energía, para asegurar un precio fijo durante un periodo determinado, por tanto, el cliente deberá acudir al mercado diario a comprar energía, liquidando la diferencia de precio con la otra parte del contrato.

B. Mercado organizado de futuros

El tipo de contrato está estandarizado, los participantes se adhieren a unas reglas determinadas y la liquidación y el buen funcionamiento está garantizado por las instituciones, como la CNMC. En España y Portugal, el mercado a plazo lo regula OMIP. En este mercado, los compradores y los vendedores publican en OMIP sus diferentes ofertas, y en el momento que un agente quiera aceptar una oferta, lo hará mediante el procedimiento estandarizado correspondiente.

A continuación se muestra la Figura 3.3, con la evolución del mercado a plazo OMIP para el año siguiente desde enero de 2012 a marzo del 2016.

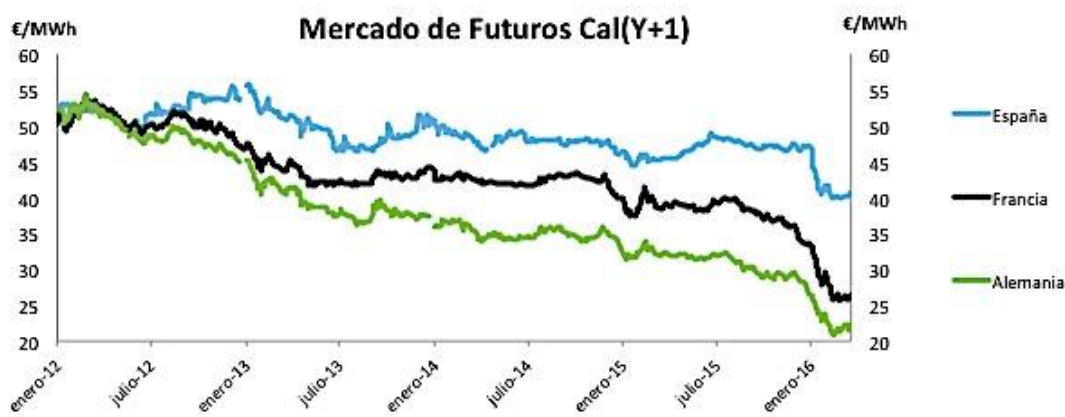


Figura 3.3 Evolución del precio de la electricidad para el año siguiente (Fuente: OMIP, EEX, AEGE, Elaboración propia)

3.3.2.2 Mercado diario

El mercado diario se celebra el día de antes del suministro de energía, y en él los agentes compran y venden energía para cada una de las 24 horas del día siguiente. OMIE es el Operador del Mercado diario en España.

Los agentes vendedores de energía eléctrica envían ofertas de venta a OMIE por cada uno de sus grupos generadores y OMIE las coloca por precio ascendente. Existe un tope al precio de mercado de 180€/MWh impuesto por OMIE.

Con las ofertas de compra por parte de distribuidores, consumidores y demás agentes compradores, OMIE forma las curvas de oferta y demanda y de la intersección de ambas curvas sale el precio marginal horario; que es el correspondiente a la oferta realizada por la última unidad de producción cuya entrada haya sido necesaria para atender la demanda de electricidad.

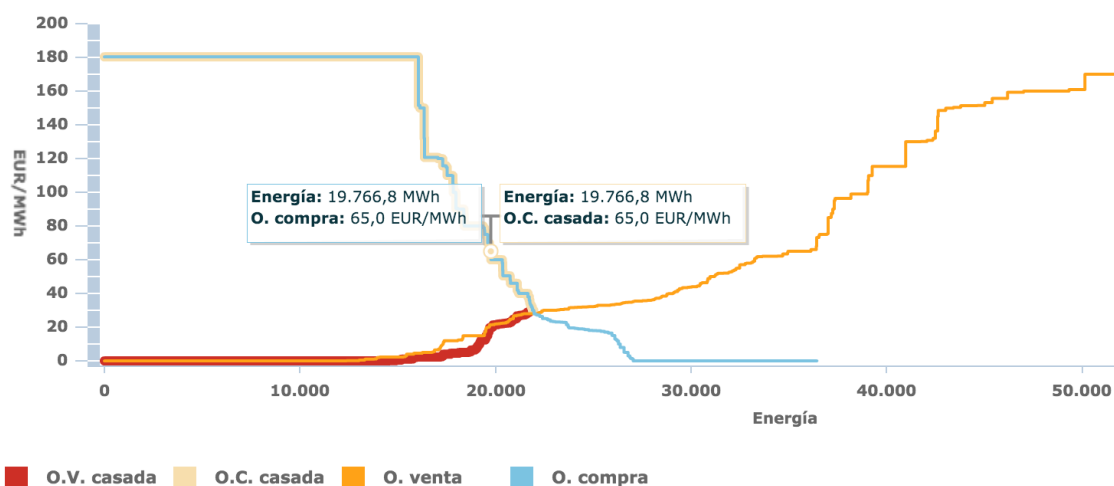


Figura 3.4 Curvas agregadas de oferta y demanda en OMIE (Fuente: OMIE)

El precio marginal horario es el precio al que se va a retribuir toda la energía vendida para esa hora en concreto.

El Operador del Sistema verifica la viabilidad técnica a través del Criterio N-1, el cual trata de un análisis elemento a elemento sobre el efecto que tendría una avería o contingencia en dicho elemento, y en ese caso, tomar medidas previsoras.

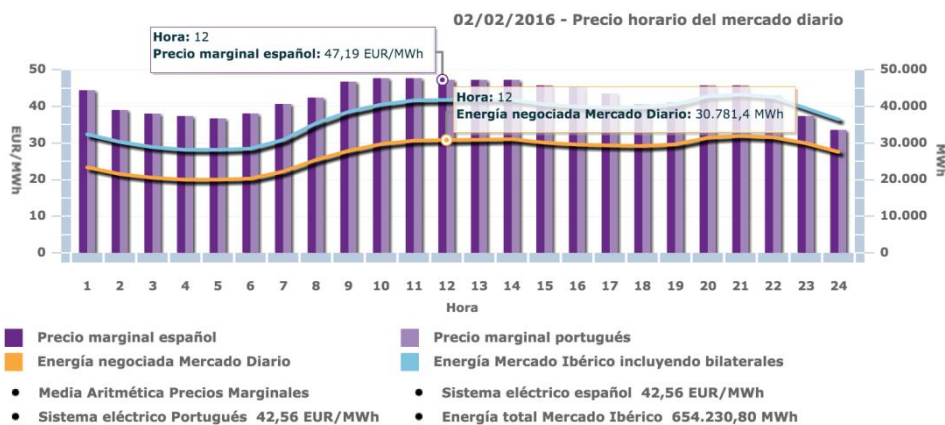


Figura 3.5 Precio horario del mercado diario a día 02/02/16 (Fuente: OMIE)

3.3.2.3 Mercados intradiarios

Tras el mercado diario, pueden ocurrir desajustes en la previsión de producción y de demanda, por ello productores y comercializadores pueden acudir a cualquiera de las seis sesiones al día del mercado intradiario, cada una de ellas separadas cuatro horas. Estas sesiones están gestionadas por OMIE y funcionan de la misma forma que el mercado diario, realizándose el mismo estudio técnico tras cada una de las seis sesiones.

Los productores pueden vender o dejar de ofertar energía y los comercializadores podrían comprar esa energía o vender la que habían comprado en el mercado diario si hay cambios en el consumo respecto a lo previsto.

3.4 Consumo

En España, un 45% de la demanda nacional de electricidad es debida al sector industrial, un 30% al sector servicios y un 25% al residencial.

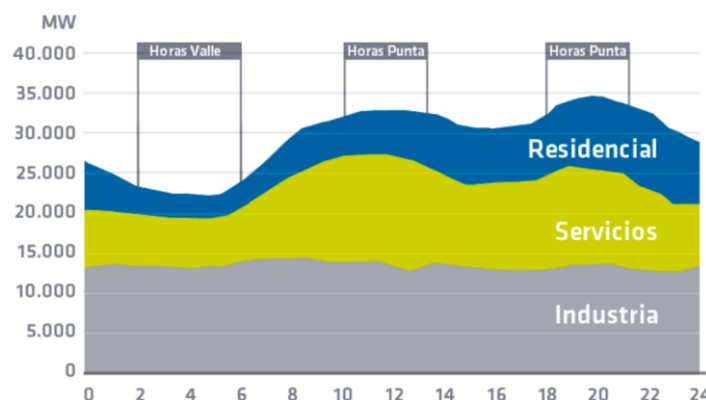


Figura 3.6 Curvas de consumo según sectores (Fuente: e-sios)

El perfil de consumo de la industria es variable en función de las necesidades de operación de cada industria. Hay industrias que tienen capacidad de modular su demanda en función del coste de la electricidad (consumidores modulares) y las hay que debido a su actividad, necesitan un valor de potencia constante a lo largo del día (consumidores planos).

El consumo en el sector servicios tiene su mínimo en la madrugada debido a que escasez de oficinas y comercios abiertos. Alrededor de las 12 de la mañana, tiene su punto máximo, que es cuando toda la actividad en hospitales, colegios, empresas, restaurantes, etc., está operativa. El consumo disminuye ligeramente al mediodía, debido, entre otras causas, al cierre de comercios a la hora de comer, para luego volver a aumentar el consumo hasta alcanzar otro pico alrededor de las 18 horas.

El perfil de consumo en los hogares varía en función de la estación del año. En invierno, la punta de potencia se sitúa al final de la jornada laboral, donde la presencia en los hogares es mayor, donde hay gran demanda debido a la calefacción, iluminación y cocina. En verano, la situación cambia situándose el cambio en las horas centrales del día, donde la temperatura es mayor y hay mayor demanda de refrigeración.

El consumo y la generación de electricidad guardan una relación directa, pero hay que tener en cuenta las pérdidas producidas desde las barras de central hasta el consumidor final. Estas pérdidas son mayores cuanto mayor es la corriente que recorren los cables, por Efecto Joule. Dicho esto, en la red de transporte las pérdidas están entre un 1,5% y un 2%. En la red de distribución, al ser menor la tensión, la corriente es mayor y por tanto, las pérdidas aumentan entre un 7 y 10%.

4 Operación del sistema eléctrico español

4.1 Introducción

La oferta y la demanda de electricidad deben ser iguales en cada momento, es decir, la producción y el consumo deben ir en consonancia, debido a que la tecnología actual no permite almacenar electricidad en cantidades suficientes que garanticen el suministro eléctrico. Es por ello que es necesaria la adecuada operación del sistema eléctrico para garantizar su buen funcionamiento y un suministro de calidad de electricidad a todos los consumidores.

La operación del sistema eléctrico se basa en la acción coordinada de los generadores de energía, la red de transporte, las subestaciones, la red de distribución, y demás elementos del sistema eléctrico. La estrategia de operación debe ser lo suficientemente sólida como para resolver problemas en cualquier punto del sistema sin consecuencias para el consumidor final. Red Eléctrica de España es el operador único del sistema eléctrico español (OS).

La demanda eléctrica no es constante a lo largo del día, sino que va variando a lo largo de las 24 horas según los hábitos de consumo de electricidad de la industria, del sector servicios y de los hogares; más en concreto depende de factores como las necesidades de frío y calor, las horas de luz, los horarios laborales, etc. Estos hábitos vienen reflejados en la curva de la demanda que el OS hace pública³:

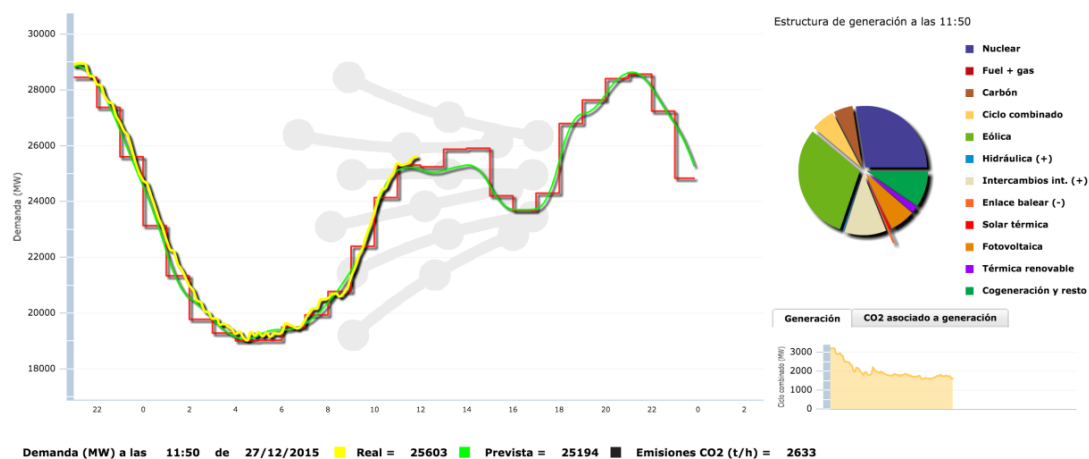


Figura 4.1 Curva de demanda nacional (Fuente: REE)

También existen diferencias de consumo según la estación del año, como se puede ver en las Figuras 4.2 y 4.3:

³ Herramienta e-sios (REE) (Ver Bibliografía)

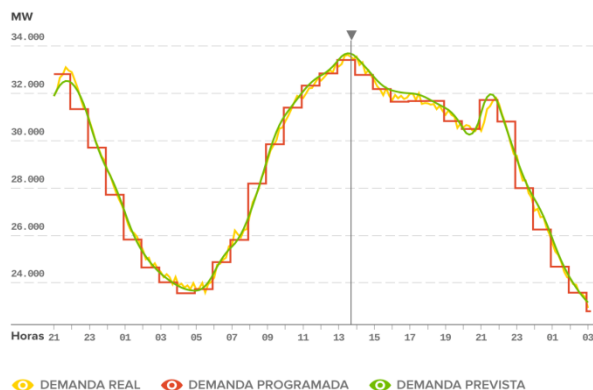


Figura 4.2 Curva demanda a día 13/08/15 (Fuente: e-sios)

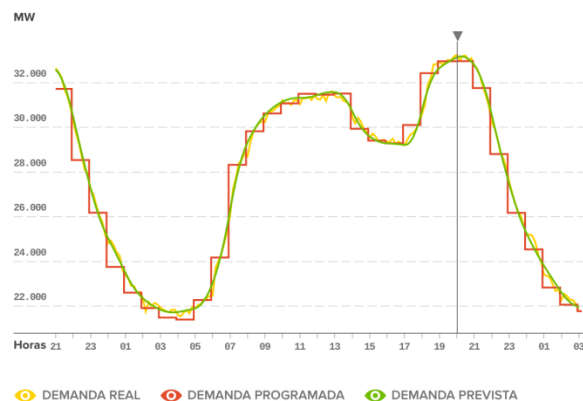


Figura 4.3 Curva demanda a día 11/11/15 (Fuente: e-sios)

En invierno, las horas punta del sistema se dan entre las 11.00 y 12.00 horas debido a la actividad en las empresas, en el sector servicios y en los hogares; o bien entre las 19.00 y 20.00 horas por la confluencia entre actividad comercial y ocupación de los hogares. Sin embargo, en verano las horas punta se producen en las horas centrales del día, coincidiendo con los momentos de mayor temperatura, donde hay gran demanda de electricidad para refrigeración.

Para gestionar adecuadamente estas situaciones, el OS sigue las normas y criterios establecidos en los Procedimientos de Operación del Sistema para, entre otros:

- Analizar la seguridad del suministro eléctrico.
- Realizar previsiones de demanda y de cobertura.
- Resolver desvíos instantáneos de oferta y demanda así como congestiones en la red.
- Planificar paradas de mantenimiento de los grupos de generación.

4.2 Gestión de la demanda

La gestión de la demanda es el conjunto de medidas cuyo objetivo es influir en los hábitos de consumo de electricidad de los usuarios de manera que favorezcan y faciliten la operación del sistema eléctrico⁴. A continuación se analizan las medidas que provocan los escenarios más eficientes:

- La **reducción del consumo** tiene como objetivo la concienciación sobre el ahorro energético, utilizando aparatos y edificios más eficientes. Un ejemplo son las bombillas de bajo consumo que hoy en día se encuentran en la mayoría de hogares.

⁴ La operación del sistema eléctrico (REE) (Ver Bibliografía)

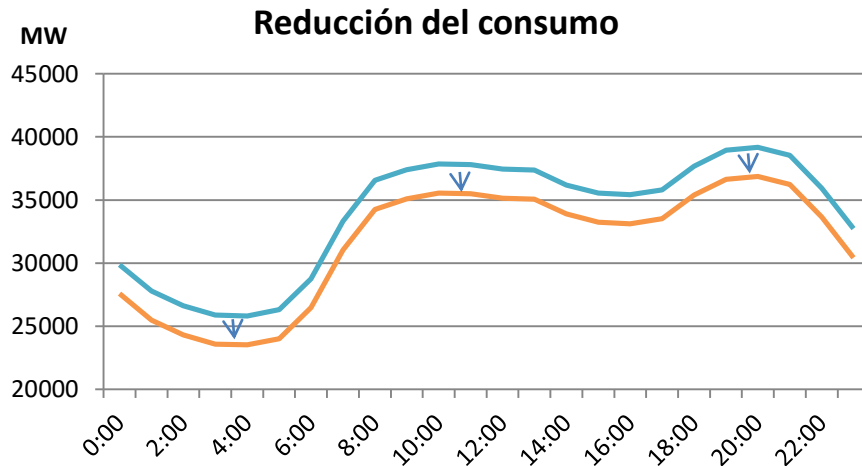


Figura 4.4 Reducción del consumo (Fuente: e-sios, Elaboración propia)

- El **desplazamiento del consumo a las horas valle** se consigue con la aplicación de tarifas de discriminación horaria que benefician al cliente que consuma electricidad en horas valle y lo penalice si consume en horas punta. Estas tarifas han resultado efectivas en la industria, para las cuales generalmente se aplican las tarifas P6⁵ durante la noche y durante el día las P2 y P1. Otra medida que favorecería el desplazamiento del consumo es la participación activa de la demanda en los mercados eléctricos.

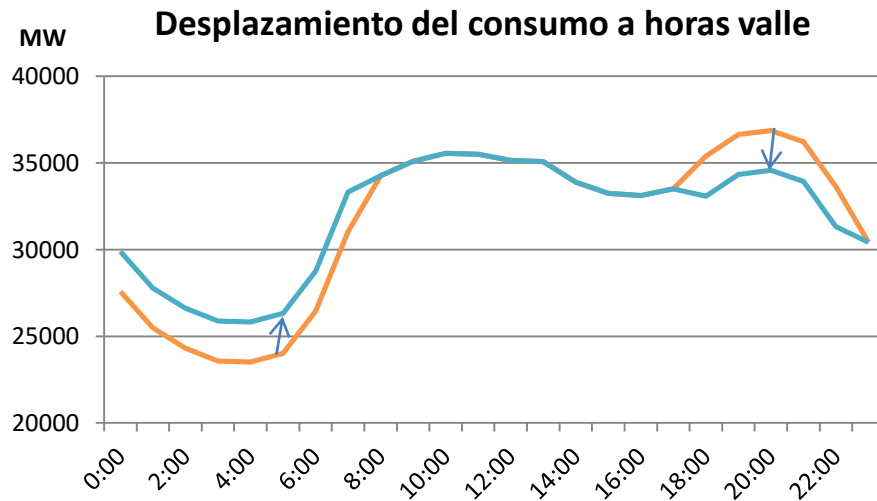


Figura 4.5 Desplazamiento del consumo a horas valle (Fuente: e-sios, Elaboración propia)

⁵ P6, P2 y P1 son términos referidos a la tarifa eléctrica de 6 periodos, comúnmente usada por la industria electro-intensiva, donde cada periodo tiene un coste distinto.

- **Llenado de periodos valle:** El vehículo eléctrico tiene una implicación inmediata en esta tarea, ya que como se detalla en el Capítulo 7, la mayoría de las recargas se efectúan por la noche, aumentando la demanda en el principal periodo valle. A modo de ejemplo de esta situación, en las centrales hidroeléctricas, la fase de bombeo aguas arriba del agua, se realiza por la noche, llenando el valle de consumo. Según evolucione la tecnología de almacenamiento de electricidad a gran escala, se podrá generar la energía eléctrica en las horas valles para almacenarla y poder utilizarla en las horas pico.

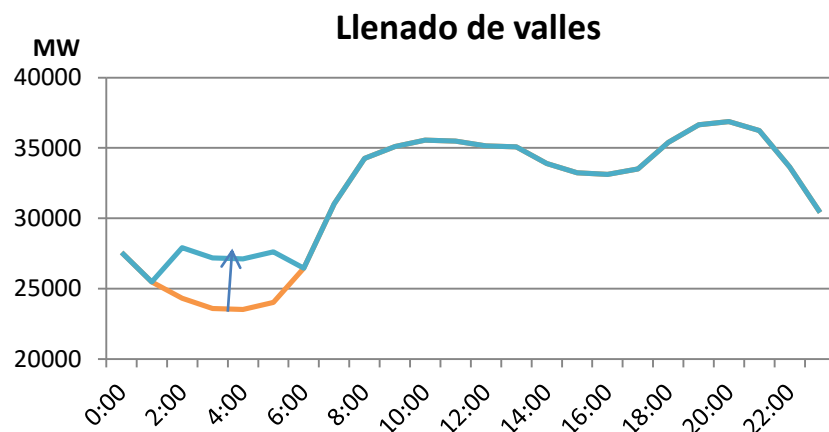


Figura 4.6 Curva demanda aplicando llenado de valles (Fuente: e-sios, Elaboración propia)

- El suministro de altas cantidades de energía en un periodo puntual de tiempo es más difícil de gestionar que un suministro constante de energía, es por ello que la **reducción del consumo en horas punta** aplanará la curva de demanda y hace el sistema más eficiente. El OS, en casos de emergencia puede aplicar el servicio de interrumpibilidad, que es una herramienta por la cual la industria electro-intensiva está preparada para reducir su potencia demandada a valores residuales para dar respuesta a dicha emergencia.

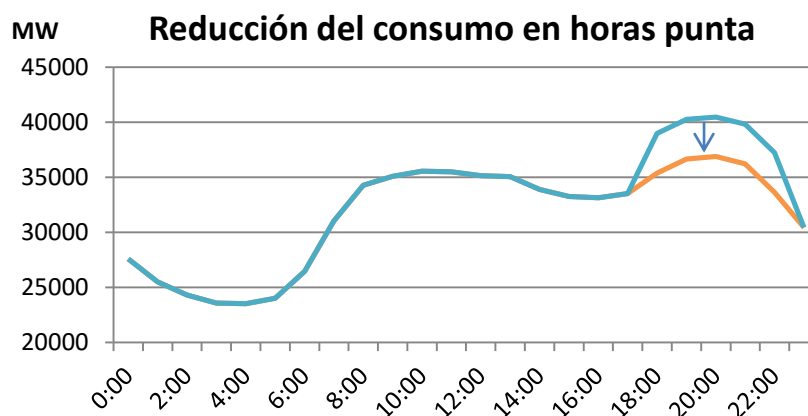


Figura 3.7 Curva demanda reduciendo el consumo en horas punta (Fuente: REE)

Tradicionalmente, la gestión de la demanda se ha centrado en el sector industrial, responsable del 45% de la demanda nacional. En un futuro se fomentará la participación en la gestión de la demanda de los sectores residencial y servicios, con un 25% y 30% respectivamente de la demanda nacional.

En conclusión, el vehículo eléctrico será clave en la participación por parte del usuario doméstico en la gestión de la demanda, ya que una recarga bien gestionada se plantea como parte de la solución a los problemas en la operacionabilidad del sistema eléctrico. Así mismo, el desarrollo de sistemas de gestión de la recarga del vehículo eléctrico facilitará la entrada de nuevos escenarios igualmente beneficiosos para el sistema, como las *Smart grids*. Estos escenarios serán base de estudio en posteriores Capítulos de este TFG.

4.3 Centros de control

CECOEL

Centro de Control Eléctrico, forma parte de REE y es el gestor del equilibrio demanda/producción del sistema eléctrico. Durante las 24 horas del día coordina la generación y el transporte de electricidad.

CECRE

Creado en 2006, el Centro de Control de Régimen Especial gestiona toda la producción de energías renovables de España. Su objetivo es introducir en el mix energético de generación la máxima cantidad posible de energía de origen renovable, atendiendo a la seguridad del sistema, ya que las energías renovables se caracterizan por su variabilidad.

CECOVEL

El Centro de Control del Vehículo Eléctrico será el centro mediante el cual REE monitorizará la participación del vehículo eléctrico dentro del sistema eléctrico. El objetivo principal será integrar la recarga masiva y variable de vehículos eléctricos, en condiciones de seguridad. Se adaptarán en tiempo real los hábitos de recarga con el sistema eléctrico, uniando dichos hábitos, con el estado de los puntos de recarga en función del volumen de energía que representen y su consumo.

El CECOVEL tratará de incidir en una mayor eficiencia y sostenibilidad de los recursos del sistema eléctrico, de manera que la recarga del vehículo eléctrico se desplace hacia las horas valle de demanda.

5 Análisis tecnológico del vehículo eléctrico

Con el objetivo de contextualizar adecuadamente al vehículo eléctrico, en este Capítulo se analiza el estado del arte de las distintas tecnologías dentro del VE como las baterías o los motores eléctricos, aprovechando para explicar los cambios en comportamiento y eficiencia en relación a los vehículos tradicionales.

5.1 Introducción

En el proceso de sustitución del vehículo tradicional por el vehículo eléctrico, el sector está atravesando por pasos intermedios en forma de vehículos cada vez más eficientes.

- Vehículos híbridos (HEV): Montan un motor de combustión interna y un motor eléctrico, combinándose ambos a largo del trayecto. El vehículo lleva baterías pero en este caso no son enchufables a la red eléctrica, por lo que su recarga se realiza a través del motor de combustión.
- Vehículos híbridos enchufables (PHEV): En este caso las baterías disponen de toma de corriente por lo que el vehículo puede recorrer un número determinado de kilómetros⁶ con energía procedente de la red eléctrica. Este hecho aumenta la eficiencia global del vehículo.
- Vehículos eléctricos (VE): Solo disponen del motor eléctrico para su funcionamiento, estando limitada la autonomía a la capacidad de las baterías. No emiten gases contaminantes en su funcionamiento pero sí en la generación de electricidad, por lo que el sistema eléctrico tiene un impacto recíproco en el vehículo eléctrico.

Los puntos desarrollados en este TFG solo tienen en cuenta a los vehículos eléctricos enchufables (PHEV y VE), ya que son los que producen impacto real en la red eléctrica.

5.2 Elementos del vehículo eléctrico

1. **Conector**: Conecta las baterías con la red eléctrica. Dependiendo del tipo de recarga que se quiera efectuar existen diversos tipos de conectores que nos aportan distintos parámetros de recarga. Ver Capítulo 6.2.
2. **Cargador embarcado**: Transforma la corriente alterna que recibe de la red eléctrica en corriente continua para alimentar a la batería. En caso de utilizar un cargador especial para recarga rápida, la corriente alterna se transformará en continua en el cargador, entonces la corriente irá directamente a la batería sin pasar por el cargador embarcado.

⁶ A modo de ejemplo, el Audi A3 e-tron puede recorrer como máximo 50 km con la energía procedente de la red eléctrica.

3. **Batería:** Es el componente encargado de almacenar en corriente continua toda la energía que utilizará el vehículo para su movimiento, sistemas de seguridad, infoentretenimiento y confort.
4. **Inversor:** Capaz de transformar la electricidad de corriente alterna a continua y viceversa, dependiendo de si el motor está generando o entregando energía.
5. **Convertidor:** El convertidor conecta la batería principal con las baterías de los componentes auxiliares eléctricos, reduciendo el voltaje de la batería principal hasta los 12 V (valor usual) que adecuan el funcionamiento de las baterías auxiliares.
6. **Controlador:** Es el encargado de traducir los deseos del conductor, concretamente, la posición del pedal del acelerador en más o menos trasvase de electricidad desde las baterías al motor. Para ello, el acelerador va conectado a un potenciómetro que mide la profundidad de pisada del acelerador. El potenciómetro envía señales al controlador de cuanta energía debe entregar al motor. En consecuencia, a más energía envíe el controlador, más capacidad de batería consumirá el vehículo.
7. **Motor eléctrico:** Transforma la energía eléctrica en mecánica y viceversa, ya que la frenada regenerativa permite transformar la energía cinética de las ruedas en eléctrica para las baterías al levantar el pie del acelerador.

5.3 Motor eléctrico

En la industria automovilística no hay unanimidad entre los fabricantes en cuanto al tipo de motor eléctrico a desarrollar, siendo los enumerados a continuación los principales motores para su uso a tracción:

- Motor de inducción.
- Motor síncronos de imanes permanentes.
- Motor de reluctancia conmutada.
- Motor *brushless*.
- Motor de flujo axial.

Sin embargo, entre todos los tipos, los motores *brushless* y de inducción están siendo los más destacados, como así confirman los desarrollos que los fabricantes están montando en los modelos que salen al mercado.⁷

Motor de inducción

El estator está compuesto de una serie de chapas fabricadas generalmente de acero al silicio donde en el perímetro interior se sitúan los devanados o bobinas inductoras trifásicas. Al alimentar los devanados con corrientes trifásicas, se genera un

⁷ Rippel, Wally. *Induction versus DC Brushless Motors*.(Ver Bibliografía)

campo magnético giratorio en el espacio y variable en el tiempo, lo cual aplicado al motor explica que el campo magnético giratorio induzca una tensión en el rotor. Las corrientes que circulan por el rotor (inducido) son consecuencia de la interacción con el flujo magnético del estator.

Todo conductor por el que circula corriente eléctrica y a su vez está dentro de un campo magnético, experimenta una fuerza que, en este caso, tiende a poner el rotor en movimiento. Para generar par motor, debe existir una diferencia entre las revoluciones del rotor (n_m) y del campo magnético (n_s), para que exista variación de flujo en el bucle conductor. Esta diferencia de revoluciones se denomina deslizamiento y califica estos motores como asíncronos.

Motor CC *brushless*

Motor alimentado por corriente continua. El estator es similar al usado en el motor de inducción. El rotor está constituido de imanes permanentes. Su funcionamiento está basado en la alimentación secuencial de cada una de las fases del estator de forma sincronizada con el movimiento y la posición angular del rotor, por lo que el controlador debe tener sensores de posición. Los imanes permanentes generan un campo magnético que entra en el núcleo del estator e interactúa con la corriente que atraviesa el bobinado para conseguir la interacción entre el rotor y el estator.

Al contrario que el motor de inducción, este tipo de motor es síncrono, las velocidades de giro de los campos magnéticos del estator y del rotor serán iguales y conocidas como velocidad de sincronismo.

Diferencias entre motores *brushless* y de inducción

Además de las diferencias físicas planteadas anteriormente, existen diferencias reseñables en cuanto a eficiencia y costes.

Para conseguir mayor eficiencia en un motor eléctrico:

- Para valores de par altos: Fuerza del campo magnético alta, de modo que las corrientes del inversor y del motor sean bajas. Minimiza las pérdidas debido a que disminuye el producto ($I^2 \cdot R$) y se maximiza la eficiencia.
- Para valores de par bajos: Fuerza del campo magnético baja, para que las pérdidas por histéresis y Foucault se reduzcan.

- Eficiencia motor *brushless*

La eficiencia energética máxima del motor *brushless* es mayor, debido a que operan con factor de potencia próximo a 1, mientras que en el caso del motor de inducción es de 0,85.

Por tanto, el campo magnético debe ser ajustado para que las pérdidas por $I^2 \cdot R$, Foucault e histéresis sean mínimas, pero no es sencillo cambiar la magnitud del campo magnético con imanes permanentes, por lo que las pérdidas se acentúan.

Cabe mencionar que el motor *brushless* genera mucho menos calor que el motor de inducción, facilitando la refrigeración.

- Eficiencia motor de inducción

El motor de inducción tiene un rendimiento de par bajo en comparación al motor *brushless*, por lo que es necesario un inversor con retroalimentación para poder competir en nivel de par.

Al no tener imanes permanentes, el controlador puede ajustar el campo magnético variando el voltaje, ya que el campo es proporcional al cociente V/f . Por tanto, en este tipo de motor se pueden minimizar mejor las pérdidas y optimizar la eficiencia. Esta ventaja es diferencial cuando se busca alto rendimiento en motores eléctricos de gran tamaño.

Conclusión: La eficiencia máxima en motores *brushless* es mayor, pero la eficiencia promedio puede ser mayor en motores de inducción gracias a la mayor capacidad de ajuste sobre la magnitud del campo magnético.

- Diferencias en costes

El precio de los imanes permanentes es alto, por tanto el coste inicial será alto en el caso del motor *brushless*. Sin embargo, dada la capacidad de variar el campo magnético del motor de inducción, el desarrollo del controlador será más sencillo y más barato, aunque en este caso la temperatura juega un papel determinante, hay que dotar a la máquina de estabilidad en todo el rango par-velocidad en función de la temperatura. Por lo que el controlador que acompañe al motor de inducción tendrá altos costes de desarrollo pero menores gastos en el largo plazo.

5.3.1 Comportamiento y frenada del motor eléctrico

La energía que aporta el motor a las ruedas tiene que ser capaz de vencer la inercia del peso del vehículo, vencer el rozamiento por rodadura y la fricción de la atmósfera sobre el perfil aerodinámico del vehículo, aumentar la energía cinética según los requerimientos del conductor y vencer la energía potencial que ocasione la ruta mediante cuestas, desniveles, etc.

Los motores eléctricos admiten sobrecargas por encima de su potencia nominal en breves periodos de tiempo, al contrario que los motores térmicos que su potencia máxima coincide con la potencia nominal. Tienen 4 cuadrantes de funcionamiento, en los que pueden trabajar según el comportamiento del conductor:

- Cuadrante 1: El vehículo va acelerando marcha adelante. Par y sentido de giro del rotor son positivos, el motor mueve a la carga consumiendo energía eléctrica.

- **Cuadrante 2:** El vehículo va marcha atrás y además frenando, situación que se puede dar, por ejemplo, en una maniobra de aparcamiento.
Par positivo y sentido de giro del rotor negativo, el motor actúa como generador aprovechando que el vehículo mueve el rotor. Dependiendo del estado de la batería, pueden darse dos tipos de frenada:
 - *Frenada regenerativa:* la energía se devuelve a la batería.
 - *Frenado reostático:* la energía absorbida excedente se consume en unas resistencias en forma de calor debido a que las baterías están completas.
- **Cuadrante 3:** El vehículo va marcha atrás y acelerando.
El motor gira en sentido negativo con par en el mismo sentido, consumiendo energía en el proceso.
- **Cuadrante 4:** El conductor frena cuando va hacia delante.
Para que el motor se oponga a la marcha, la velocidad y el par deben tener signos opuestos, positivos y negativos respectivamente. Al igual que en el segundo cuadrante, se recupera energía.

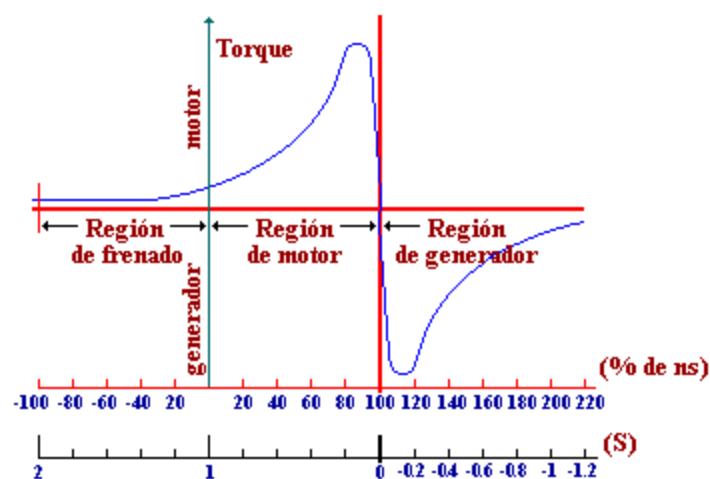


Figura 5.1 Regiones de funcionamiento de un motor asíncrono (Fuente: Universidad Bío-Bío, Chile)

En la Figura 5.1 se observan las distintas regiones de funcionamiento del motor asíncrono. El funcionamiento como motor es en el intervalo ($0 < S < 1$), es decir, desde que la velocidad del campo magnético es igual a la velocidad del rotor hasta que la velocidad del rotor es nula. Si la velocidad del campo magnético sigue aumentando ($S > 1$), pasa a ser de sentido contrario a la velocidad del rotor, por lo que el motor frena al vehículo. En la región de generador de energía eléctrica el deslizamiento es negativo ($S < 0$), ya que la velocidad del rotor es mayor y de mismo sentido que la velocidad del campo magnético, por lo que la potencia es devuelta al circuito del estator y se genera corriente eléctrica.

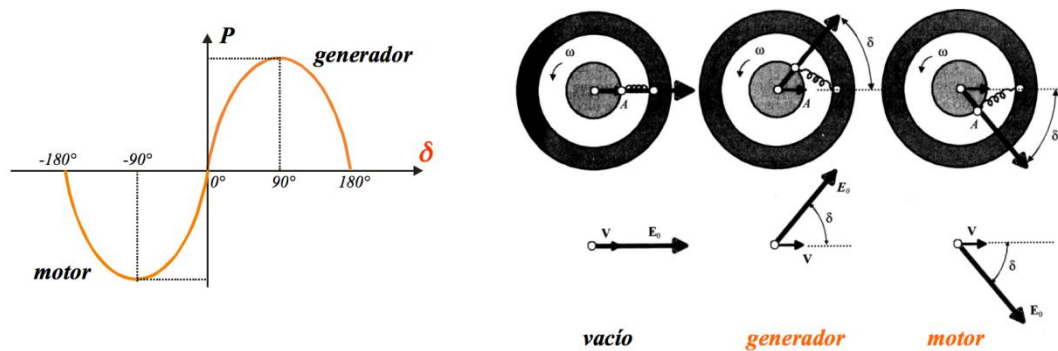


Figura 5.2 Regiones de funcionamiento de un motor síncrono (Fuente: ForoCochesElectricos.com)

En el caso del motor síncrono, la Figura 5.2 muestra la variación del sentido del ángulo en función de si el motor entrega o almacena energía. Se puede observar como en un ángulo de 90° entre los polos del rotor y el estator se alcanza la máxima potencia.

La frenada en el vehículo eléctrico

Debido a la naturaleza regenerativa del motor eléctrico, al levantar el pie del acelerador, el controlador deja de enviar energía al motor y por tanto, comienza a girar en sentido contrario (cuadrante 4). Esto permite desde decelerar el vehículo hasta pararlo por completo, por lo que el freno mecánico no resulta imprescindible. Este hecho permite dotar al vehículo de distintas configuraciones de frenada, las cuales varían las sensaciones del conductor.

Existen grandes diferencias entre los constructores de automóviles en la manera de tratar la frenada en sus modelos eléctricos, ya que unos intentan que sea lo más parecido a un vehículo tradicional y otros que entienden que la frenada debe ser singular en el caso eléctrico.

La frenada será una combinación entre retención, regeneración y frenado mecánico. La combinación entre estos tres aspectos a la hora de levantar el pedal del acelerador y pisar el freno da diferentes configuraciones, las cuales el conductor probablemente pueda variar en la consola de su vehículo (en algunos modelos), variando de esta manera la capacidad regenerativa del motor. La pauta general es que al levantar el pie del acelerador, el coche sufra la retención, similar a cuando se reduce marcha y se levanta embrague en un coche convencional, lo cual se logra con un freno magnético. El recorrido restante del acelerador será para la regeneración, así como la primera parte del pedal del freno, y solo la última parte del pedal será para activar la frenada mecánica, en la cual no se recupera la energía, ya que se pierde en forma de calor debido a la fricción del freno con la rueda.

5.3.2 Comparación de funcionamiento motor eléctrico vs. motor de combustión interna

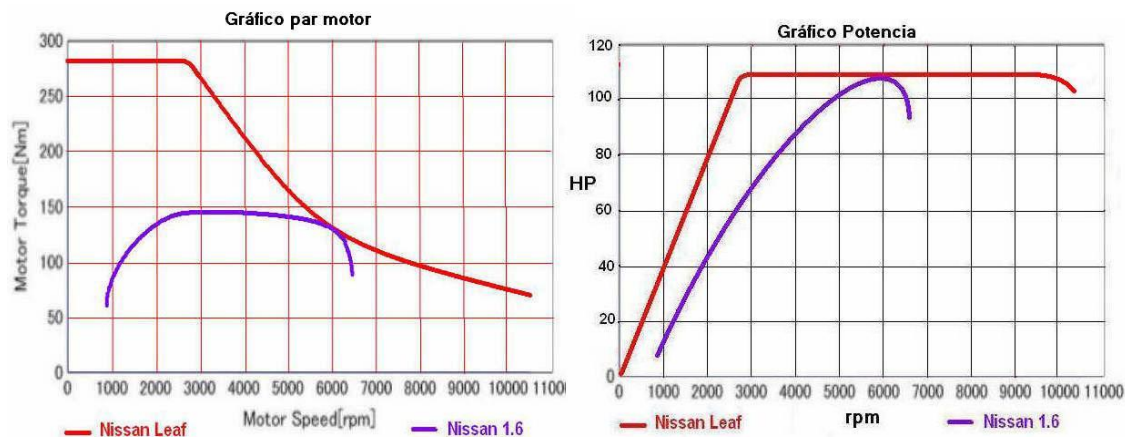


Figura 5.3 Comparación par-potencia-rpm entre el Nissan Leaf y el Nissan 1.6 de gasolina (Fuente: Nissan)

La entrega de par y potencia son las principales funciones de un motor, tanto eléctrico como térmico. En un primer vistazo a la Figura 5.3 se puede ver que:

- El motor eléctrico proporciona par a 0 rpm.
- El motor da su máxima potencia en un amplio rango de revoluciones.
- Inexistencia de ralentí, el motor puede estar parado cuando el vehículo se detiene.

La razón por la que un motor eléctrico puede seguir encendido a 0 rpm es que su empuje es continuo, la fuerza del motor eléctrico puede comenzar y finalizar en cualquier posición; mientras que en un motor alternativo, por debajo de las revoluciones del ralentí, el motor no obtiene la fuerza suficiente como para que el cilindro siga moviéndose y pueda completar su ciclo.

El hecho de que el motor eléctrico pueda seguir encendido a 0 rpm propicia que no haya embrague, ya que no es necesario desalojar la transmisión del motor al querer detener el vehículo sin detener el motor. También permite la existencia de los motores eléctricos radiales instalados en la propia rueda.

Se puede observar también que el motor eléctrico entrega su máxima potencia desde el primer momento, por lo que se consiguen grandes aceleraciones. En el motor alternativo, se busca la mejor relación entre entrega de par y potencia con el sistema de transmisión, pero por contra, al buscar también un consumo de combustible adecuado, (ver Figura 5.4) el conductor realiza el cambio de marcha antes de llegar al punto de máxima potencia, por lo que siempre se circula a potencias muy inferiores a la nominal, como se puede ver en las curvas, donde por debajo de las 3000 rpm, que serían un cambio de marcha usual, el motor aporta como máximo 60 CV de los 110 CV disponibles.

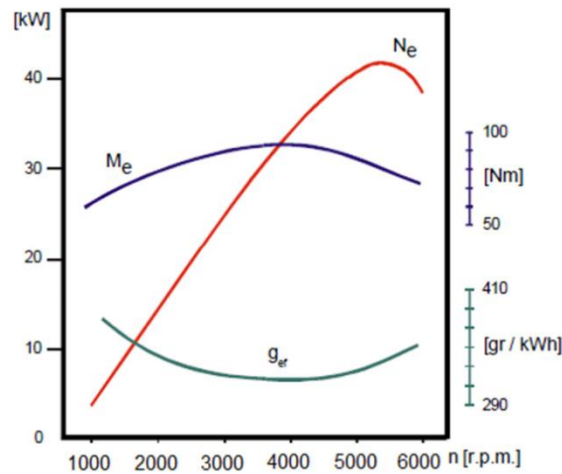


Figura 5.4 Curvas potencia, par, consumo específico de un MCI (Fuente: "Motores térmicos" J.I.Nogueira)

5.4 Baterías

5.4.1 Principio de funcionamiento

Una batería o acumulador básicamente almacena energía eléctrica a partir de energía química. Una batería está formada por un conjunto de celdas. Cada celda está formada principalmente por un ánodo y un cátodo que están comunicados a través de un electrolito. Las celdas se combinan entre sí en serie y/o en paralelo para lograr la tensión deseada. La Figura 5.5 muestra el trasvase de electrones e iones en los procesos de carga y descarga de la batería.

Las celdas aportan energía eléctrica gracias a una reacción reducción-oxidación reversible (redox) en el que el ánodo se oxida, pierde electrones, y el cátodo se reduce, es decir, gana electrones. En las baterías los componentes no se consumen, solo cambian de estado de oxidación, pudiendo retornar al original, mediante el proceso de recarga. El proceso de recarga en sí, es el paso de corriente con signo contrario al proceso de descarga. La reacción concreta varía en función de los componentes del acumulador.

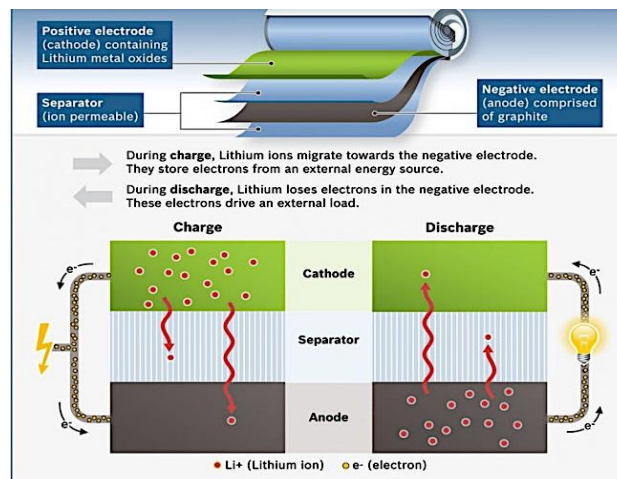


Figura 5.5 Proceso carga y descarga de una batería (Fuente: Bosh)

5.4.2 Tipos de baterías

A continuación se analizan los tipos de baterías más usados en la industria automovilística en el pasado y en el presente, siendo la batería Ion-Litio la predominante en los VE de hoy en día.

Níquel–Cadmio

Están compuestas de un ánodo de cadmio, un cátodo de hidróxido de níquel y un electrolito de hidróxido de potasio. Entre sus puntos fuertes se encuentra su energía específica ≈ 60 Wh/kg y el amplio rango de temperaturas de funcionamiento (-45°C , 60°C), aunque a altas temperaturas se degradan más rápidamente. Ofrecen 1,2 V/celda. Su principal inconveniente es la toxicidad de sus componentes y el efecto memoria, por el cual las baterías pierden capacidad a lo largo de los ciclos de carga.

Níquel-Hidruro metálico

Para mejorar el inconveniente de la toxicidad del cadmio, se sustituye el cátodo por una aleación de hidruro metálico, con un ánodo de hidróxido de níquel. Al igual que las baterías níquel-cadmio dan 1,2 V/celda. Su ventaja es la mencionada mejora de la toxicidad y la alta energía específica, que en este caso supera los 60 Wh/kg llegando a alcanzar los 110 Wh/kg. Entre sus desventajas destacadas están la corta vida media, menos de 500 ciclos de carga y el pobre funcionamiento a temperaturas extremas. Batería usada mayoritariamente en vehículos híbridos.

Plomo-ácido

Batería muy común para su uso en vehículos tradicionales y cuya tecnología está muy desarrollada. Son las encargadas del arranque en motores alternativos. Compuesta de un ánodo de plomo esponjoso y un cátodo de dióxido de plomo, unidos por un electrolito de ácido sulfúrico disuelto en agua. Ofrece buena tensión por celda, 2 V/celda, superior a las baterías anteriormente citadas. Por contra, su mayor punto débil es la energía específica, que ronda los 40 Wh/kg, siendo muy inferior que sus competidoras, por lo que su instalación en un vehículo aumentará el peso total considerablemente.

Ion-Litio

Pueden estar compuestas de un cátodo de óxido de cobalto, óxido de manganeso o trifilina, aunque admite más posibilidades; un ánodo de grafito con un electrolito de sal de litio. Dependiendo del tipo de cátodo, esta batería proporciona una tensión por celda que varía de 3,2 a 3,6 V/celda. Dada su alta energía específica, alrededor de 130 Wh/kg, permite mejorar el vital aspecto del peso en el vehículo eléctrico; además carecen de efecto memoria, permitiendo la recarga a cualquier nivel de capacidad. Sin embargo, son vulnerables a descargas completas y a sobrecargas (recargas una vez llegado al nivel máximo de capacidad). Este tipo de baterías no

admite adecuadamente las altas temperaturas, llegando a tener problemas de inflamación e incluso explosión.

A modo de resumen, en la Tabla 5.1 se muestran las principales características de los tipos de baterías analizados.

Batería	Energía específica	Densidad energética	Ciclos duración	Voltaje por celda	Auto descarga
	(Wh/kg)	(Wh/L)	(Ciclos)	(V/celda)	(%/mes)
Ni-Cd	60	100	500	1,2	30%
Ni-Hidruro metálico	60-110	150-200	500	1,2	20%
Pb-ácido	40	60-110	800	2	5%
Ion-Litio	130	200-250	1200	3,2	15% a 40°C

Tabla 5.1 Resumen características baterías (Fuente: Elaboración propia)

5.4.3 Requisitos de las baterías para uso en vehículos eléctricos

En primer lugar, dado los altos costes de las baterías, deben tener suficiente vida útil como para amortizar su precio. En la Figura 5.6, se muestran las conclusiones halladas por Björn Nykvist y Måns Nilsson, publicadas en la revista Nature Climate Change. Dada la alta competencia entre las firmas investigadoras de baterías, se ha instalado el secretismo en sus resultados, por lo que el trabajo de Björn Nykvist y Måns Nilsson, al ser más completo hasta la fecha, se ha establecido como referencia. En la gráfica se puede observar la bajada de precios drástica de hoy en día, pudiendo alcanzar los 100\$/kWh en diez años.

En segundo lugar, las baterías también deben ser robustas, ya que pueden sufrir sobrecargas, vibraciones o algún tipo de golpe en algún momento durante el uso del vehículo.

En tercer lugar deben ser capaces de funcionar con grandes aumentos de temperatura y deben soportar también temperaturas bajas extremas cuando el vehículo sufra malas condiciones meteorológicas.

Por último, debe aportar unos valores aceptables de densidad energética y energía específica, ya que el tamaño y el peso es crucial para el diseño y eficiencia del vehículo.

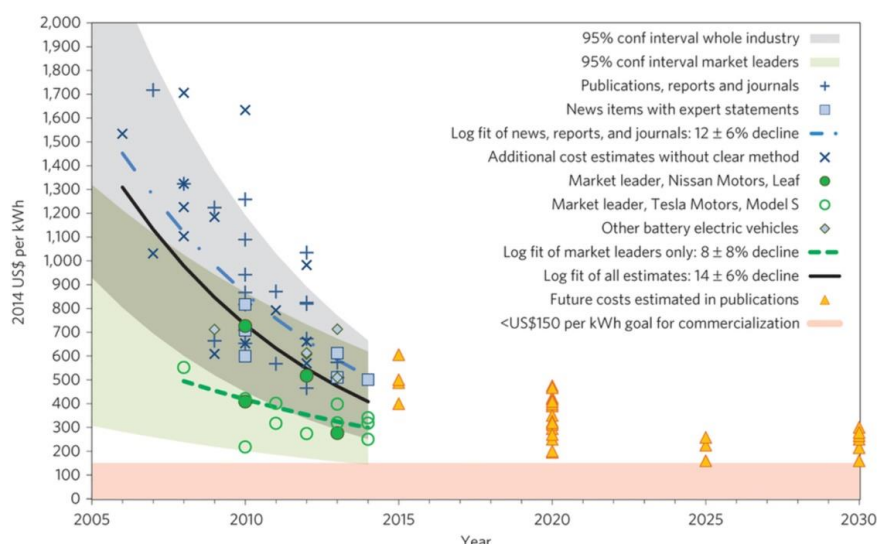


Figura 5.6 Evolución de los costes de baterías desde 2005 a 2014 (Fuente: Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles, Björn Nykvist y Måns Nilsson)

En conclusión, entre los tipos de baterías analizados, el más adecuado es el Ion-Litio, ya que las baterías de Níquel-Cadmio y Níquel-Hidruro metálico sufren efecto memoria, lo cual dado el alto coste de las baterías es muy negativo para la viabilidad de la compra del vehículo. Las baterías de plomo se descartan para su uso a tracción debido al gran peso que conlleva completar una capacidad aceptable. Las baterías Ion-Litio tienen las ventajas de ligereza y durabilidad, las cuales logran sobreponer sus puntos débiles, por lo que la industria del automóvil se ha centrado en su desarrollo.

A modo de ejemplo, uno de los modelos eléctricos más vendidos, el Nissan Leaf, en su última remodelación correspondiente a 2016 (Nissan Leaf 1.3) está dotado de una batería Ion-Litio de 30 kWh. Está compuesta por 192 celdas y 48 módulos. Su ánodo es de grafito y su cátodo lo forma una composición de litio, níquel, manganeso y cobalto. En la modalidad de recarga rápida, es capaz de admitir 24 kWh en 30 minutos, lo cual según datos de NEDC (New European Driving Cycle), permite una autonomía de 200 km.

5.4.4 Líneas de investigación y barreras tecnológicas

Dentro de la infraestructura del vehículo eléctrico, la batería es la parte más crítica y donde hay más terreno por desarrollar, es por ello que es la parte donde se centran gran parte de los esfuerzos por parte de los investigadores. A continuación se analizan las líneas de investigación principales:

Energía específica

Se pretende que las baterías no aumenten su peso ni su tamaño al acumular mayor energía, para ello se trabaja en mejorar la energía específica, que mejorará su capacidad energética disminuyendo el peso. Hoy en día, las baterías Ion-Litio tienen alrededor de los 130 Wh/kg.

Vida útil

Las baterías pierden progresivamente capacidad con las altas temperaturas y con los ciclos de carga y descarga, por tanto es esencial mejorar la resistencia térmica y alargar su vida útil para que el consumidor no tema que al comprar un vehículo eléctrico deba gastar dinero en nuevas baterías cada poco tiempo.

Rapidez de recarga

Uno de los mayores inconvenientes del VE es la dificultad que entraña la autonomía de la batería a la hora de hacer trayectos largos. Si se desarrolla la recarga rápida, se podrá cargar en pocos minutos la batería durante este tipo de trayectos. La velocidad de recarga varía en función del estado de carga de la propia batería. Si la batería está completamente vacía, la recarga será mucho más rápida en los primeros kWh de capacidad que en el último tramo de la batería; es por ello que la mayor parte de las recargas rápidas se realicen hasta el 75% de la capacidad, ya que a partir de ese punto la velocidad de recarga desciende notablemente. Las recargas rápidas empeoran la durabilidad, ya que un aumento de la tensión de recarga afecta negativamente al sobrecalentamiento de las baterías. Sin embargo, hay vehículos que detectan este aumento perjudicial de la temperatura y regulan la tensión de recarga, aunque de esta forma el vehículo tardará más en recargarse.

Precio

El precio de las baterías supone aproximadamente un tercio del coste final del vehículo, por tanto, cualquier mejora en este aspecto se verá directamente reflejada en el precio final. Algunos fabricantes están optando por suministrar la batería en calidad de alquiler, con el objetivo de abaratar el coste inicial del vehículo.

Reciclaje de las baterías

Que una batería pierda la capacidad deseada para su uso en un vehículo no quita que tenga suficiente capacidad para otros usos; es por ello que se deben reciclar como, por ejemplo, acumuladores eléctricos domésticos para uso en electrodomésticos, como acumuladores de electricidad producida con tecnología fotovoltaica, etc. Al final de su vida útil, se podrán recuperar la mayor parte de sus componentes, como así obliga la normativa⁸.

Tensión unitaria por celda

Las baterías actuales de Ion-Litio proporcionan $\approx 3,2$ V en cada celda. Se investiga aumentar la tensión, y en consecuencia la potencia que reciben, sin comprometer la vida útil ni su estabilidad.

⁸ Real Decreto 710/2015, de 24 de Julio, por el que se modifica el Real Decreto 106/2008, de 1 de Febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos (Ver Bibliografía)

Alto rendimiento

Se trata de mejorar la relación de energía que recibe la batería y la que es capaz de entregar, reduciendo las pérdidas en forma de calor. Actualmente, las baterías Ion-Litio tienen rendimientos alrededor del 90%.

Resistencia a la temperatura

Las altas temperaturas de trabajo que soportan las baterías en funcionamiento en un vehículo propician una mayor y más rápida pérdida de capacidad de carga en las baterías. El clima en el que el consumidor se emplace es clave para la durabilidad de las baterías. A modo de ejemplo, una batería de Li-Ion puede auto descargarse más rápidamente conforme se eleva la temperatura, pudiendo llegar a pérdidas de carga del 0,3% al día a 21°C, casi un 0,6% a 40°C y un 1,2% a 60°C. El tipo de sistema de refrigeración por el que el vehículo haya optado es también clave, ya que la refrigeración por líquido es más efectiva que la refrigeración con aire.

Algunos ejemplos de nuevos modelos de baterías que van saliendo a la luz son las compuestas por Litio-aire, de aluminio grafito, nano-yemas o las llamadas baterías de estado sólido.

5.5 Eficiencia vehículo eléctrico

Los motores de combustión interna tienen una eficiencia aproximada del 15%, desde la producción de combustible a partir de la extracción del petróleo hasta que la energía calorífica del combustible es transformada en energía mecánica. En concreto, las pérdidas en el propio motor de combustión interna, desde que el combustible es introducido en el depósito hasta que la energía térmica se convierte en energía mecánica son del 67%, disipándose la energía en forma de calor en el proceso de combustión, en el rozamiento y la fricción, entre otros.

En la determinación de la eficiencia del VE influye directamente el origen de la energía con la que se produce la electricidad (mix energético). El IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) estima que el conjunto de los grupos generadores del mix energético medio tiene unas pérdidas del 55%. Así mismo, las pérdidas producidas en la red de transporte y distribución principalmente por efecto Joule son aproximadamente del 5%. La eficiencia del proceso de carga involucrando al conector y al tipo de batería, que en este caso se considera una del tipo ion-litio, es del 92%. Por último, las pérdidas en el motor eléctrico son mínimas contabilizándose en un 3% de la energía saliente de las baterías, por lo que la eficiencia global del vehículo eléctrico desde la generación de electricidad a la conversión de energía mecánica es aproximadamente del 29%.

Comparación de eficiencia			
Pérdidas a causa de:	VMCI	Pérdidas a causa de:	VE
Refino y tratado del petróleo	15%	Generación de electricidad	55%
Transporte hasta depósito	3%	Red de transporte y distribución	5%
Motor térmico	67%	Conector y batería	8%
		Motor eléctrico	3%
Eficiencia global	15%	Eficiencia global	29%

Tabla 5.2 Pérdidas globales vehículo eléctrico (Fuente: IDAE “Mapa Tecnológico Movilidad Eléctrica”, Elaboración propia)

5.6 Amortización vehículo eléctrico

Uno de los principales alicientes de compra del VE es su menor coste a largo plazo, ya que el precio inicial de compra es superior a los vehículos tradicionales de similares características, por lo que se estudia su amortización con el siguiente caso ejemplo:

Hipótesis realizadas:

- Coste VE: 30.000€
- Coste vehículo tradicional: 15.000€
- Vida útil: 15 años
- Recorrido anual: 20.000 km.
- Coste gasolina: 1,2€/L
- Coste electricidad (tarifa supervalle): 0,0577 €/kWh
- Consumo VE: 15 kWh/100km
- Consumo vehículo tradicional: 6L/100km
- Mantenimiento VE⁹: 0,03€/km
- Mantenimiento vehículo tradicional⁷: 0,04 €/km

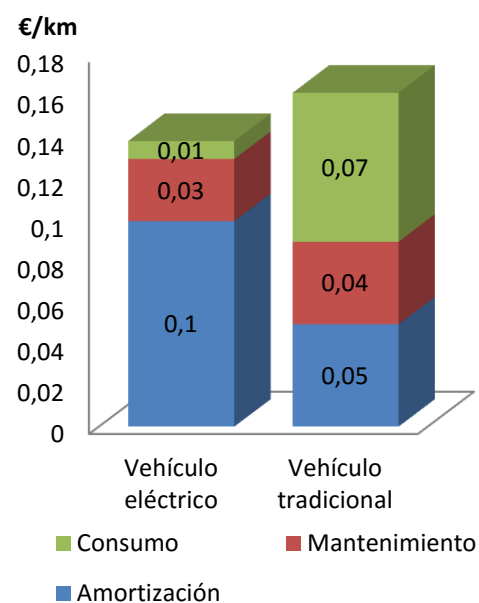


Figura 5.7 Comparativa de amortización de un VE (Fuente: [9], Elaboración propia)

En la Figura 5.7, se aprecia el ahorro que supone el vehículo eléctrico a medio plazo (0,14€/km frente a 0,16€/km), debido principalmente a su ahorro en combustible y mantenimiento, que supera el gran desembolso inicial. Según avance la tecnología de desarrollo del VE, se reducirán los costes y la amortización será aún más favorable, en concreto en baterías, dado que es la parte que soporta la mayor parte del coste en un VE y más capacidad de evolución tiene a día de hoy.

⁹ On the road in 2035 (Massachusetts Institute of Technology). (Ver Bibliografía).

6 Infraestructura de recarga

6.1 Introducción

La infraestructura de recarga es el factor clave para una integración adecuada del vehículo eléctrico. Un desarrollo de la infraestructura que permita al usuario recargar su vehículo en cualquier situación, tanto de manera vinculada como pública, en un amplio rango de potencias, que aporte información al usuario de la tarifa aplicada, el estado de la carga, el tiempo de espera, etc., resulta esencial para que los vehículos eléctricos se establezcan definitivamente.

La instalación de puntos de recarga tiene consecuencias para el sistema eléctrico, como pueden ser refuerzos puntuales en la red de distribución o ampliaciones de sección de conductores. Estos aspectos se analizan en el Capítulo 7.3. También se pueden generar oportunidades de negocio relacionadas con la recarga de vehículos eléctricos, entre las que se encuentran la fabricación de conectores, la fabricación, instalación y mantenimiento de puntos de recarga domésticos, la creación de electrolíneas, la instalación de puntos de recarga para la posterior venta de electricidad en la vía urbana o la figura del gestor de cargas del sistema.

6.2 Tipos de conectores

6.2.1 Conector doméstico

Estandarizado según la norma CEE 7/4, también denominado conector Shuko, es compatible con las tomas de corriente en Europa. Compuesto por dos bornes y toma de tierra, transmite 16 A.

6.2.2 Conector Tipo 1

Estandarizado por la norma IEC 62196-2 y llamado Tipo 1, originalmente se denominaba SAE J1772. De origen americano, en concreto diseñado por la Sociedad de Ingenieros de la Automoción, es el conector predominante en EEUU. Transporta corriente monofásica y tiene un sistema de seguridad que impide su manipulación por terceras personas, así como detector de proximidad.



Figura 6.1 Conector Tipo 1 SAE J1772 (Fuente: Endesa Vehículo Eléctrico)

6.2.2 Conector Tipo 2

Conocido usualmente como Mennekes, la norma IEC 62196-2 lo estandarizó como Tipo 2. Alcanza los 43 kW con 63 A de recarga y puede ser usado para corrientes monofásicas de 16 A, además de ser adecuado para la recarga en CA. Compuesto por cuatro bornes para corriente alterna trifásica, uno de tierra y dos para las comunicaciones. La ACEA (European Automobile Manufacturers' Association) ha establecido el conector Tipo 2 como el estándar europeo, y junto con el Modo 3 (ver Capítulo 6.7.3) se ha convertido en la referencia en el continente.



Figura 6.2 Conector Tipo 2 Mennekes (Fuente: Endesa Vehículo Eléctrico)

6.2.3 CHAdeMO

Conector específico para la recarga en Modo 4 (ver Capítulo 6.7.4). De fabricación japonesa, es el usado en los modelos de Nissan, Toyota y Mitsubishi, entre otros. Compuesto de diez bornes, una toma de tierra y comunicación con la red, es el conector de mayor tamaño. Capaz de transmitir potencias de hasta 50 kW y amperajes de 200 A.



Figura 6.3 Conector CHAdeMO (Fuente: www.zap-map.com)

6.2.4 CCS

Conector ideado para la recarga en CC y apoyado por los mayores fabricantes de automóviles americanos y alemanes, quienes acordaron instalarlo en sus vehículos. Físicamente es semejante al conector Tipo 2, con dos pines más para la conexión en CC, por lo que la entrada en el coche es compatible con los conectores Tipo 1 y 2. Permite hasta 200 A y 50 kW de potencia, por lo que puede ser usado en recargas en Modo 4.



Figura 6.4 Conector CCS (Fuente: www.teslamotorsclub.com)

6.3 Velocidades de recarga

La velocidad en la recarga no es constante en todo el rango de la capacidad de las baterías. La fase más rápida de la recarga es la fase a intensidad constante, mientras que una vez alcanzado un voltaje límite, comienza la fase a tensión constante, en la cual la intensidad va disminuyendo progresivamente y en consecuencia disminuye la velocidad de carga, resultando una fase de recarga lenta. El objetivo principal de la bajada de la corriente es aumentar la vida útil de la batería.

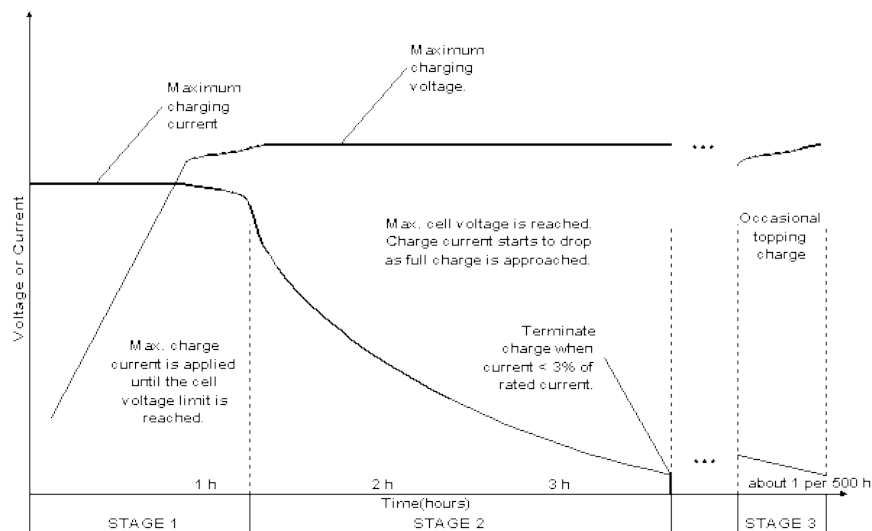


Figura 6.5 Fases de recarga de una batería Ion-Litio (Fuente: www.buchmann.ca)

La Figura 6.6 muestra un ejemplo de recarga rápida a través de un conector tipo CHAdeMO. La velocidad de carga es prácticamente constante hasta el 60% de capacidad aproximadamente; en ese momento, la fase de carga a intensidad constante finaliza para dar comienzo la fase de carga a tensión constante, en la cual la velocidad de recarga va disminuyendo a medida que se va completando la recarga.

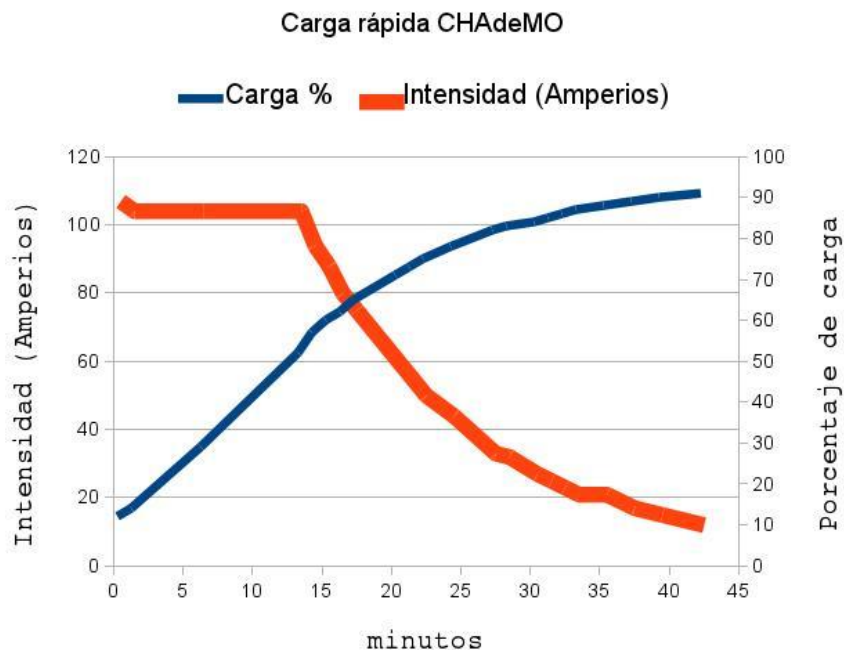


Figura 6.6 Curva de recarga con conector CHAdeMO (Fuente: www.zap-map.com)

6.3.1 Recarga lenta

Recarga a baja potencia, de un máximo de 2,3 kW. Este valor es el resultado de una bajada provocada de la corriente inferior a 10 A. La causa de esta bajada es una falta de garantías de seguridad. Es efectuada con una toma doméstica disponible en la mayoría de garajes privados. Es la recarga más apropiada para capacidades de batería pequeñas como las existentes en motocicletas pero también es válida para vehículos eléctricos.

6.3.2 Recarga normal

La toma doméstica proporciona un voltaje de 230 V y un amperaje de 16 A, resultando una potencia de 3,6 kW. Adecuada para recargas en garajes tanto privados como multifamiliares. Con estos parámetros, y con los valores de capacidad de baterías en el mercado, una recarga completa durará ocho horas aproximadamente.

6.3.3 Recarga semirrápida

Será la recarga predominante en aparcamientos públicos (como centros comerciales), y en aparcamientos de flotas de empresas. Esta velocidad se consigue mediante conectores que alcancen potencias superiores a 15 kW e inferiores a 40 kW¹⁰, como por ejemplo, el conector Tipo 2. Para los cálculos efectuados en este TFG, se ha considerado una potencia de 22 kW para la recarga semirrápida.

6.3.4 Recarga rápida

Se considera recarga rápida aquellas que emplean potencias superiores a los 40 kW. Gracias a esta potencia, y teniendo en cuenta la tecnología actual, se pueden conseguir recargas del 50% de la batería en 15 minutos.

6.4 Tipos de recarga

6.4.2 Recarga vinculada

La infraestructura de recarga tendrá asignada unos vehículos eléctricos en concreto para la prestación del servicio de recarga. Esta recarga tiene cabida en plazas de garaje de viviendas unifamiliares y multifamiliares. Dado que el vehículo pasa largos periodos de tiempo aparcado, se deben dar las máximas facilidades al usuario para la recarga. Es por ello, que la recarga vinculada se efectuará habitualmente a velocidades desde lentas a semirrápidas.

6.4.3 Recarga de oportunidad

La recarga de oportunidad se plantea como complemento de necesidad a la recarga vinculada, no sustitutiva, debido a que las baterías ion-litio sufren con potencias de recarga elevadas. Se podrá efectuar en instalaciones públicas, aparcamientos en empresas, centros comerciales y en electrolinerías. Este tipo de recarga busca la velocidad, de manera similar al repostaje de combustible, por ello las recargas serán a velocidades normal, semirrápida y rápida. En el mejor de los casos la recarga durará 15 min.

6.5 Tipología de la infraestructura

6.5.2 Infraestructura pública

Especialmente ideada para la recarga de oportunidad, debe permitir una recarga lo suficientemente rápida para que el vehículo pueda continuar su trayecto sin demorarse en exceso. La implantación de esta infraestructura reducirá el inconveniente de la autonomía, ya que permitirá efectuar viajes más largos.

¹⁰ MOVEA 2016 (Ver Bibliografía)

Será necesario un desarrollo conjunto de la instalación de puntos de recarga en la vía pública junto con una mayor capacidad de admisión de altas potencias de recarga por parte de los VE.

En la Figura 6.7 se muestra un ejemplo de instalación de puntos de recarga públicos en Madrid.¹¹

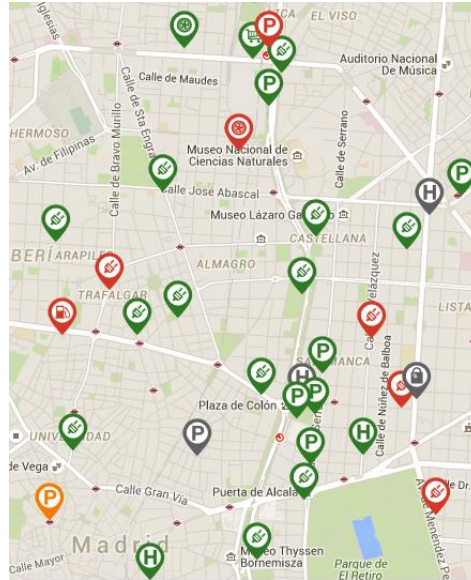


Figura 6.7 Mapa parcial de puntos de recarga públicos en Madrid (Fuente: ElectroMaps)

6.5.3 Infraestructura privada

Los sistemas de recarga en el ámbito privado multifamiliar o en empresas que engloben un número determinado de vehículos eléctricos, deben su complejidad al control de la simultaneidad de las recargas. La recarga de un gran número de vehículos a la vez debe ser gestionada en consonancia con la potencia y energía disponibles para el edificio sin comprometer los distintos usos particulares en las viviendas o en las oficinas.

El sistema debe ser capaz de tener elementos de gestión y medida de las variables eléctricas, de dotar al usuario de una previsión de la demanda de recargas, y sistemas de comunicaciones que doten tanto al usuario como al operador de la información necesaria para la correcta gestión operativa.

Con sistemas inteligentes de recarga, el OS irá variando los parámetros de recarga buscando la mejor eficiencia, por lo que es interesante la colocación de indicadores que muestren el estado de la recarga, tanto si está en proceso, en pausa o completamente cargado. Es decir, cuando el usuario aparque el vehículo e indique al sistema que efectúe la recarga, el sistema podrá dejar la recarga en pausa si no tiene las condiciones eléctricas necesarias para efectuarla con seguridad.

¹¹ ElectroMaps (Ver Bibliografía)

Sería interesante que el sistema ofreciera al usuario planes de recarga específicos atendiendo a los distintos precios en los distintos tramos horarios ofertados por la distribuidora, pero de momento esta opción no está desarrollada.

6.6 Gestores de carga

El gestor de carga es una figura a la cual se otorga la capacidad de comprar energía eléctrica del mercado eléctrico o de las compañías distribuidoras para después venderla para su uso en la recarga de vehículos eléctricos. El Real Decreto que regula al gestor de carga es el “Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, por el que se regula la actividad del gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética”; el cual se explica en el Capítulo 8 (II).

La regularización de los gestores de carga permite a empresas como centros comerciales o propietarios de parkings públicos ofertar la recarga del vehículo eléctrico como un producto más, a un precio fijado por el propio gestor de carga que variará previsiblemente con la velocidad y el tiempo de recarga.

6.7 Modos de recarga

Los modos de recarga están clasificados en función de nivel de comunicación entre el vehículo y la infraestructura de recarga. Los modos de recarga están definidos en la norma UNE-EN 61851-1:2012 “Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos”.

La parámetros eléctricos de la recarga que caracterizan la velocidad de la misma serán función de la compatibilidad del conector y del propio vehículo eléctrico con dichos parámetros, no del modo a utilizar, aunque hay ciertos modos ideados para un rango de potencias en concreto.

6.7.1 Modo 1

No permite las comunicaciones entre el conector y el vehículo. Recarga a través de un conector doméstico convencional (Shuko), por tanto será una recarga lenta, limitada usualmente a 10 A y 2,3 kW de potencia.

6.7.2 Modo 2

La recarga también se efectúa a través de la clavija Shuko; pero en este caso, el cable contiene un dispositivo que verifica el correcto funcionamiento de la conexión entre el conector y el vehículo. Exclusivo para el vehículo eléctrico.

6.7.3 Modo 3

Requiere un terminal específico inteligente para la recarga y es exclusivo para los vehículos eléctricos. El terminal aporta una alerta de comprobación de la correcta conexión, verificación de la toma de tierra, capacidad de desconectar y conectar la

carga a la vez que variar la potencia de la recarga según los intereses del propietario. El cable contiene hilo piloto de comunicación. Serán válidos conectores tipo Mennekes, SAE J1772 o Scame. Modo ideado para recargas tanto a velocidad lenta, normal y semirrápida.

6.7.4 Modo 4

Recarga ideada para recargas rápidas en estaciones de servicio públicas. El sistema contiene un convertidor de corriente alterna a continua, el cual es imprescindible a niveles de corriente tan altos, ya que si esa transformación se produjera en el inversor propio del vehículo habría problemas de sobrecalentamiento. Recarga la batería en corriente continua en potencias generalmente comprendidas entre 22 kW y 50 kW, aunque dependerá del grado de admisión del vehículo y del conector. Dadas las altas potencias, no todos los vehículos son capaces de soportarlas. Los conectores a utilizar son CHAdeMO y Combo.

7 Impacto del vehículo eléctrico

La integración masiva del vehículo eléctrico en España supondrá cambios importantes en el sistema eléctrico. Algunos de estos cambios ya están presentes, como las tarifas discriminatorias o un marco regulatorio propio. En este Capítulo se analizan detalladamente los campos donde la integración del VE tendrá especial influencia y se exponen las conclusiones principales del desarrollo de este TFG.

7.1 Impacto en la operación del sistema eléctrico

La progresiva sustitución del vehículo eléctrico en España tendrá un impacto inmediato en la operación del sistema eléctrico. Este impacto puede ser favorable o desfavorable para la operación del sistema, dependiendo de la estrategia de recarga que sigan los usuarios.

La característica principal de la curva de demanda es que tanto en invierno como en verano, existe un elevado ratio entre el máximo de energía demandada y el mínimo, lo cual dificulta la operación del sistema, ya que cuanto más plana sea la curva, más sencilla es de gestionar.

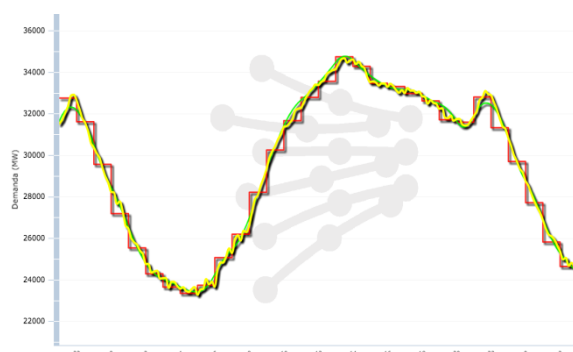


Figura 7.1 Curva demanda verano (Fuente: e-sios)

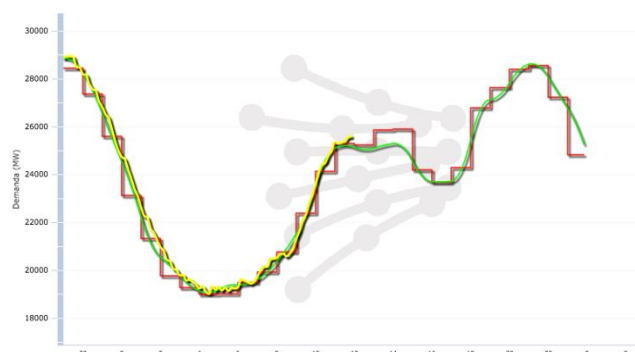


Figura 7.2 Curva demanda invierno (Fuente: e-sios)

Mediante las recargas del VE, habrá un incremento de demanda en ciertos periodos horarios y por tanto, el ratio punta/valle podrá aumentar o disminuir en mayor o menor medida, dependiendo del comportamiento general de los usuarios.

Con la aplicación informática desarrollada, la cual se muestra en el Capítulo 9, se pueden simular múltiples situaciones. Se indican a continuación dos casos extremos que se han simulado, para un perfil de invierno y un perfil de verano:

Caso A – Recarga predominante en horas valle

- Número de VE: 1 millón
- Velocidad de recarga: Lenta
- Potencia: 2,3 kW por VE
- Periodo de recarga: 100 % en valle
- Intervalo horario: De 0h a 8h.
- Factor de simultaneidad: 100%

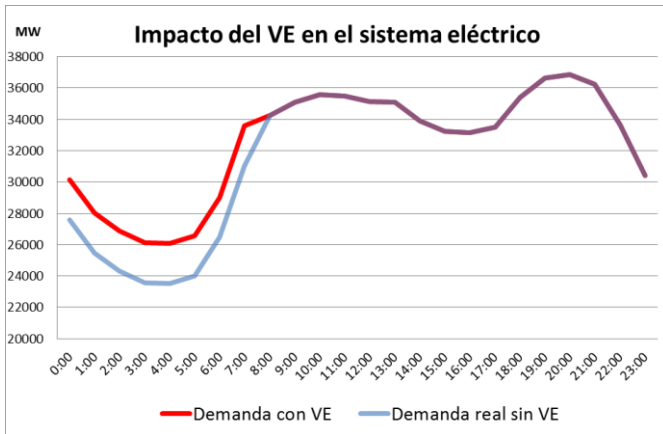


Figura 7.3 Caso A (invierno)

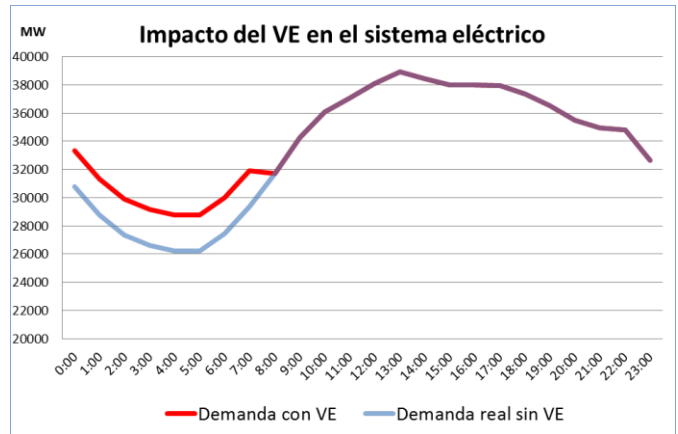


Figura 7.4 Caso A (verano)

Si se concentran las recargas de VE en horas valle, la curva de demanda del sistema resulta más plana, disminuyendo la diferencia de potencia demandada entre el máximo y el mínimo horario, lo cual facilita la operación del sistema. También se observa que el valle de demanda tiene capacidad para admitir un número aún mayor de recargas de vehículos, aplanando la curva de la demanda. Este tipo de recarga aumenta la eficiencia del sistema eléctrico en su conjunto.

Caso II – Un 30% de los VE efectuando recarga rápida en horas punta

- Número de VE: 1 millón
- Velocidad de recarga: Un 30% de VE recarga rápida.
- Potencia: 40 kW
- Periodo de recarga: Un 30% de VE en horas punta.
- Intervalo horario: Punta en invierno (20h), punta en verano (13h).
- Factor de simultaneidad: 100%

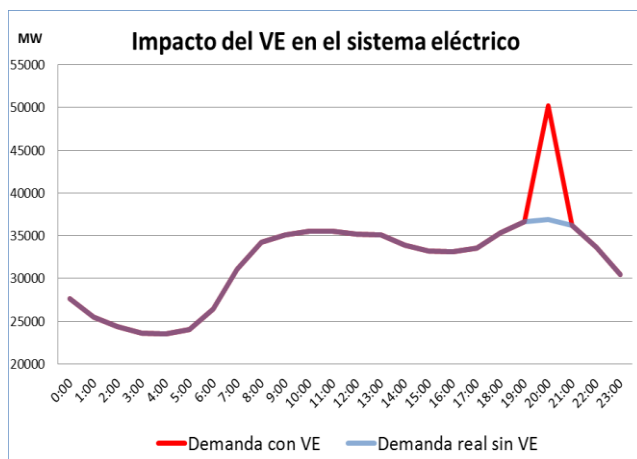


Figura 7.5 Caso II (invierno)

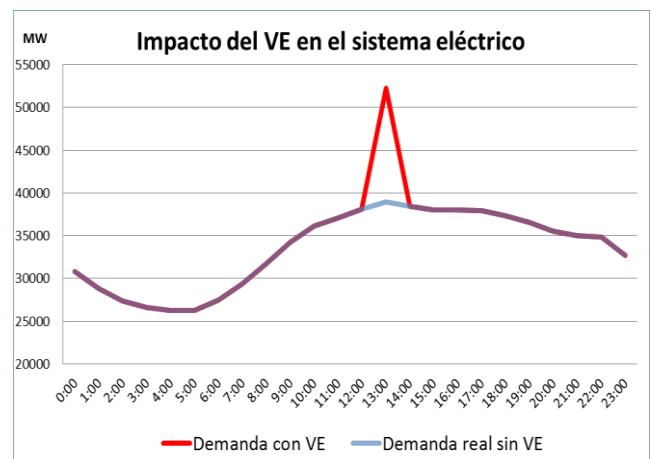


Figura 7.6 Caso II (verano)

Un caso más extremo para la operación del sistema eléctrico es la concentración masiva de recargas rápidas en un mismo intervalo de tiempo. En este caso, la potencia necesaria para la recarga rápida de un VE es de 40 kW, concentrados en las horas donde más demanda hay usualmente, a las 20h en invierno y a las 13h en verano.

Esto aumenta de manera desproporcionada la dificultad de operación del sistema, ya que supondría la disposición de un 25% más de generación en punta que sin VE (50 GW frente a 40 GW) en un periodo muy corto de tiempo. Esto exigiría un sobredimensionamiento no lógico del sistema (generación y red), por lo que el cumplimiento de políticas que eviten esta situación es imprescindible.

7.2 Integración de las energías renovables

El vehículo eléctrico consume electricidad, que una vez creada no emite gases contaminantes, pero si se produce dicha electricidad mediante combustibles fósiles, no se estará ofreciendo una solución definitiva al grave problema medio ambiental que existe hoy en día, aunque es cierto que el problema de la alta polución en las ciudades se vería reducido, ya que los focos de contaminación serían los grupos generadores de electricidad, no el propio vehículo. Para hacer posible que el VE sea una verdadera solución medioambiental, la generación de electricidad debe estar ligada en mayor medida a las energías renovables.

7.2.1 Caso singular de la energía eólica

La energía renovable más destacada en el sistema eléctrico peninsular español es la eólica. Con 22,84 GW instalados a día 31/12/15, participaron en la demanda nacional produciendo 48.280 GWh (2015), lo que supuso un 18% del total.

El viento es predecible pero no gestionable. Predecible porque hay tecnología capaz de realizar una previsión meteorológica fiable el día anterior a la generación, e ir aumentando la exactitud con las horas hasta el momento de la generación. No es gestionable porque el ser humano no puede controlar la intensidad, dirección o el lugar donde sopla el viento, por lo que a priori no se puede garantizar un suministro determinado.

Como se ha visto en el Capítulo 4.2, la recarga en horas valle mejora la gestionabilidad del sistema, pero además facilita la entrada de energía eólica. En la Figura 7.7 se ve como en horas valle, especialmente por la noche, es frecuente encontrar una elevada producción de generación eólica. También se puede observar como en un día de viento donde se genera gran cantidad de electricidad a partir de energía eólica, el 50% de la potencia instalada de eólica no se utiliza, como se puede observar en la Figura 7.7.

Esto es debido a que no toda la potencia disponible en las centrales eólicas cumple los requisitos necesarios para su introducción en el mix energético. Las causas más frecuentes de su no introducción son:

- Energía no despachable por baja demanda.
- Saturación de redes.
- Riesgo de estabilidad transitoria.
- Inhabilidad de los parques para activar las protecciones por límites en la potencia de cortocircuito.

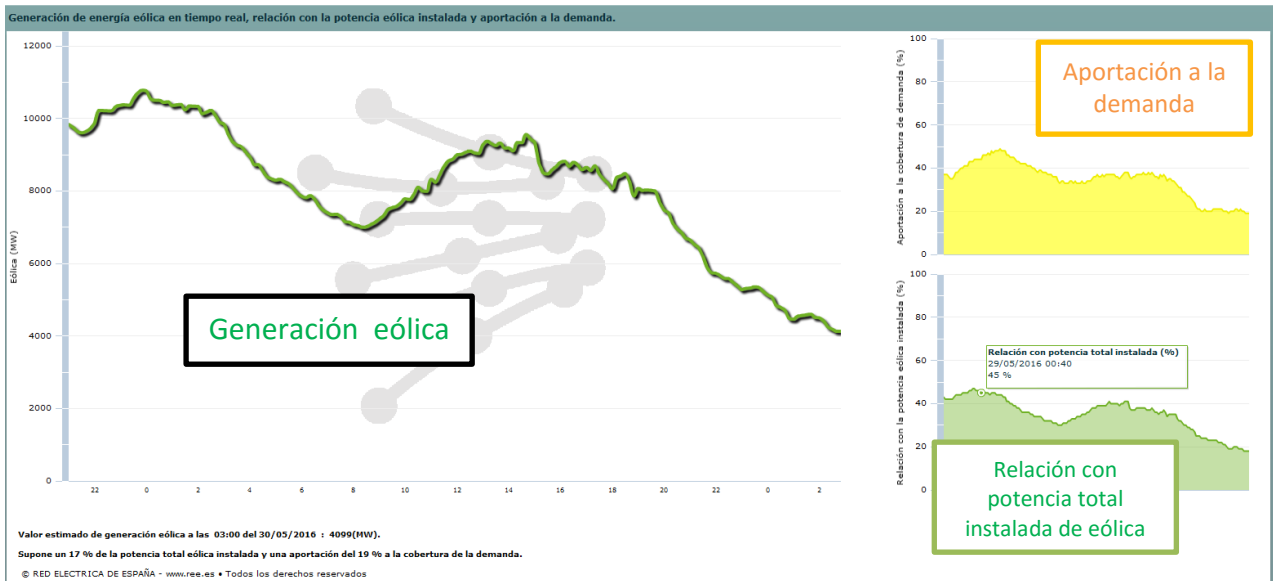


Figura 7.7 Generación eólica, aportación a la demanda y relación con la potencia eólica instalada a 30/05/16 (Fuente: REE)

La recarga del vehículo eléctrico puede dar cabida a esta generación de energía eólica variable y reducir los casos en los que los parques eólicos se desconectan. El objetivo a buscar es integrar el excedente de energía eólica para la recarga de los vehículos.

Sin embargo, no hay un patrón de viento o de lluvia estacionario en el tiempo, por lo que no se puede asegurar con rotundidad que el aumento de demanda que produce la recarga nocturna pueda dar cabida a generación renovable.

7.2.2 Funcionamiento bidireccional del vehículo eléctrico

La comunicación bidireccional del vehículo eléctrico (V2G del inglés, Vehicle to Grid) es el uso de la capacidad de carga de las baterías del propio vehículo cuando está conectado a la red para satisfacer las necesidades del sistema.

Hoy en día, esta opción no se puede llevar a cabo debido a la falta de evolución del contexto del VE, una evolución que permitiría desarrollar una tecnología y una metodología de seguimiento, control y capacidad de acción sobre las recargas de todos los VE. Por tanto, se plantea como una opción de futuro que permitirá mejorar la operación del sistema y la integración de renovables.

Para poder efectuar una recarga inteligente, el usuario debe tener información del estado del sistema para poder gestionar la recarga de su vehículo. Entre las herramientas principales que tiene el OS y las distintas instituciones para fomentar las buenas prácticas en la recarga son:

- Regulación predeterminada.
- Distintas tarifas eléctricas que favorezcan a aquellos usuarios que recarguen en horas valle y perjudiquen a quien recargue en horas punta.
- Control directo de la carga por parte del OS. Por ejemplo, si el usuario va a tener su vehículo conectado a la red 10 horas, y para completar la recarga solo necesita 7 horas, el OS puede regular los minutos de entrega de energía según las necesidades del sistema.

Como se ha comentado anteriormente, las energías renovables presentan un carácter variable que es independiente del ser humano, es por ello, que no se pueden usar como plena garantía de suministro eléctrico. Gracias al comportamiento bidireccional de los vehículos, se podrán salvar estos inconvenientes, ya que en el proceso de recarga del vehículo, al no haber necesidad de que la recarga se efectúe ininterrumpidamente, se pueden usar energías altamente variables como la eólica.

Este sistema se plantea también para que cuando haya exceso de generación de energías renovables se recarguen los vehículos, pero esa energía se podrá verter a la red cuando exista déficit, ampliando de esta manera la contribución de las renovables al mix energético nacional.

La comunicación bidireccional, por tanto, se presenta como una gran batería, compuesta por todos los VE, que gestionada correctamente puede beneficiar al sistema eléctrico, y en especial, a las renovables.

Todo este proceso no sería posible sin una gran inversión inicial en equipos e infraestructura que permitan aprovechar todas las horas que los vehículos se encuentren aparcados.

Una vez descrito el funcionamiento bidireccional del vehículo, es importante resaltar que el uso óptimo de la aplicación es en sistemas eléctricamente aislados, como es el caso del sistema balear y del sistema canario. En el caso del sistema eléctrico peninsular, dado que existe una sobrecapacidad de potencia instalada, no sería tan necesario el uso del vehículo eléctrico como almacén y fuente de energía, aunque su uso sería beneficioso para la integración de las renovables.

En conclusión, las energías renovables encuentran en el vehículo eléctrico un marco de futuro donde poder superar sus dos principales puntos débiles, la no gestionabilidad y la no garantía de suministro.

7.3 Impacto en la Red eléctrica

Uno de los objetivos de este TFG es analizar la recarga de los vehículos en cualquiera de sus modalidades y sus adaptaciones a distintos tipos de usuarios y escenarios.

Entre las múltiples opciones de recarga por las que puede elegir el usuario, se establecen las siguientes **estrategias de recarga** con el objetivo de estudiar los casos más representativos:

- **Valle:** Efectuada en las horas comprendidas entre la 1h y las 6h. En la mayoría de los casos, para programar la recarga en este horario será necesario algún sistema temporizador.
- **Punta:** En invierno, la recarga en horas punta corresponde al periodo comprendido entre las 20h y las 22h, cuando el usuario llega a casa al finalizar su jornada laboral. En verano, las horas pico están entre las 12h y las 15h.
- **Inteligente:** Requiere de un sistema de control de la recarga coordinado entre los VE capaz de gestionar las recargas de manera que la curva de demanda resultante sea lo más plana posible.

Si se compara el pico de potencia demandada alcanzado en España en 2015; 40.726 MW; con los 108.299 MW de potencia instalada, resultan más 60.000 MW de potencia disponible. Esto indica que existe en 2016 una sobrecapacidad de generación y por tanto, es altamente probable que el Sistema pueda dar cabida a la integración de un gran número de vehículos eléctricos en cuanto a capacidad de generación se refiere. En la Figura 7.8 se puede observar un ejemplo de potencia instalada sobrante en un día laborable.

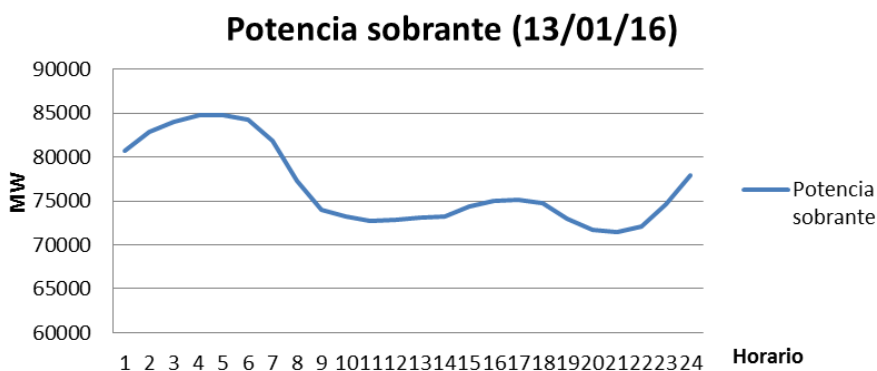


Figura 7.8 Potencia sobrante a día 13/01/16 (Fuente: REE, Elaboración propia)

Las redes del sistema eléctrico se dimensionan para poder suministrar la máxima potencia contratada por el cliente. Para realizar este dimensionamiento se tienen en cuenta factores como la simultaneidad, ya que no todos los usuarios de la red demandan la máxima potencia contratada al mismo tiempo. Ello implica que el consumo máximo de un conjunto de usuarios debe ser siempre menor que la suma de los posibles consumos máximos. El incremento del consumo causado por la recarga

masiva del VE tendrá un mayor impacto en la red de distribución más cercana a los usuarios particulares.

Los distintos estudios recopilados para la realización de este TFG ponen en común que para los niveles de penetración del VE esperados en los próximos años, no serán necesarias inversiones adicionales en la **red de transporte** a las ya planificadas.

Las instituciones proponen la recarga lenta en horas valle debido a que a corto plazo es la que mejor aprovecha la capacidad actual del sistema eléctrico. Según estudios de REE¹², la red es capaz de aceptar 4 millones de vehículos eléctricos recargando a baja potencia en horas valle sin necesidad de ampliar la capacidad de la red o instalar nuevos grupos generadores. Este hecho se verifica en la aplicación informática desarrollada en este TFG para analizar el impacto del VE, la cual se expone en el Capítulo 9.

Como se ha explicado en el Capítulo 3.2, los hogares están conectados mediante la red de distribución, la cual a su vez está conectada a la red de transporte a través de los transformadores de las **subestaciones de transformación**. Las subestaciones se sobredimensionan para que sean capaces de absorber un futuro crecimiento de la demanda, por tanto, es lógico pensar que existe un cierto margen de potencia disponible que permita una integración moderada y distribuida del VE.

La capacidad usual de un centro de transformación urbano es de 630 kVA¹³, por tanto, teniendo en cuenta las bajas previsiones de ventas de VE en España, en los próximos 5 años, en general no se superará el margen de potencia disponible y en consecuencia, no serán necesarios nuevos centros de transformación ni aumentar la potencia de transformación existente.

Por tanto, en el corto plazo, la problemática se traslada a la **red de conexión doméstica**¹⁴, en concreto, en la conexión con la plaza de garaje.

En aparcamientos de **viviendas unifamiliares** los parámetros eléctricos se pueden controlar desde el contador de la vivienda, del cual tiene acceso exclusivo el usuario. Es reseñable que para una potencia contratada de 4,4 kW; valor usual de una vivienda unifamiliar, en horas valle donde la actividad en los hogares es reducida, habría capacidad suficiente para recargar un vehículo en potencias de 2,3 kW o 3,6 kW.

En la construcción de **aparcamientos multifamiliares** no se ha tenido en cuenta la integración de la infraestructura de recarga. En consecuencia, ante la imposibilidad (por ejemplo a causa de falta de espacio) de instalar los sistemas (contadores, cables,

¹² Red 21 de Red Eléctrica de España (Ver Bibliografía)

¹³ Condiciones técnicas y de seguridad de las instalaciones de distribución de Endesa. (Ver Bibliografía)

¹⁴ “La entrada del vehículo eléctrico en las redes de distribución” HC Energía

conectores, etc.) en cada una de las plazas en las que aparque un vehículo eléctrico, la red destinada a la recarga será común para todas las plazas.

Una opción planteada es aprovechar el contador presente añadiéndole una parte con controles destinados a la recarga de VE. Esta solución conlleva problemas de reparto de potencia contratada entre el uso doméstico y la recarga, ya que comparten contador.

En el caso de **flotas empresariales**, mientras que la recarga sea lenta y nocturna, el sistema absorberá la potencia sin mayor problema. Sin embargo, dado que el horario comercial coincide con las horas de mayor consumo de electricidad, es probable que la recarga se realice en horas punta. Además, en función de la carga de trabajo que tenga la empresa, se puede dar el caso de que se necesite más de una recarga diaria, por lo que la recarga rápida en altas potencias puede estar más presente que en el caso del usuario particular. Debido al tamaño y al coste de la infraestructura de recarga rápida, normalmente la instalación de los sistemas se realizará de manera agrupada para todos los vehículos de los que disponga la empresa, por lo que se acentúa el problema, ya que esa parte de la red soportará mayor carga.

7.3.1 Consecuencias de la recarga no responsable en la red de distribución

Nada asegura totalmente que el usuario tenga una conducta idónea respecto a una gestión eficiente del sistema eléctrico, por lo que el sistema debe ser capaz de aceptar conductas de recarga más agresivas acorde con la libertad de uso de la red; en definitiva, debe garantizar el suministro en todas las opciones de recarga disponibles para el usuario.

Para analizar los casos en los que el usuario no efectúe una recarga responsable con el sistema eléctrico, este TFG se basará en los resultados publicados en el artículo “Evaluación del impacto de la integración del coche eléctrico en las redes de distribución de energía eléctrica”¹⁵ de los Cuadernos de la Fundación General CSIC, por tratarse de una publicación y unos autores de relevancia en el sector.

El estudio toma como base el coste de una red de distribución, sin contar con el efecto de los VE, de unas dimensiones determinadas, extrapolable al resto de la red española. A partir de ahí, se localizan los posibles puntos de recarga de VE y se calculan cuáles serían las inversiones necesarias para el suministro a nuevos clientes, de manera que garantice los niveles de calidad de suministro eléctrico exigidos legalmente.

En concreto, las características de la simulación son:

- Superficie de 400 km².

¹⁵ “Evaluación del impacto de la integración del coche eléctrico en las redes de distribución de energía eléctrica” Pablo Frías, Carlos Mateo Domingo y José Ignacio Pérez Arriaga. (Ver Bibliografía)

- 170.000 consumidores (domésticos e industriales).
- 30.000 VE en circulación, es decir un 17% del total de consumidores de electricidad.
- Se adopta una potencia general consumida en la recarga de 3 kW.

El tipo de inversiones de refuerzo de la red serán: nuevas líneas para usuarios deslocalizados, cambios en la sección de los conductores para adecuar los valores de corriente y tensión, y aumentos en la potencia de las subestaciones de transformación.

Se obtienen los siguientes resultados (Figura 7.9) donde están diferenciados los incrementos de los costes de inversión en la red de baja y media tensión, y en los centros de transformación que comunican ambas redes, según el usuario realice recargas en horas valle o punta, o con sistemas inteligentes.

Incremento de los costes de inversión por penetración del VE en la Red de Distribución (I)

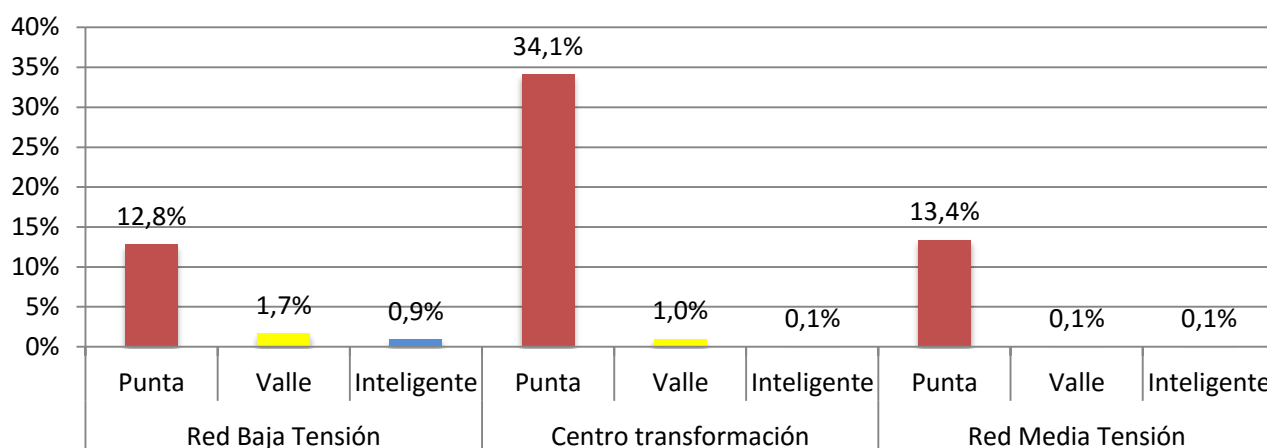


Figura 7.9 Incremento en los costes de inversión debido a la penetración del VE (Fuente: [10], Elaboración propia)

Los costes añadidos en la red de baja tensión al efectuar la recarga en horas punta se cifran en un 12,8% más del coste inicial, resultado elevado teniendo en cuenta que efectuando un tipo de recarga más apropiada para el sistema disminuyen los refuerzos por debajo del 2%.

El traslado de las recargas hacia las horas valle provoca una reducción drástica en la necesidad de refuerzos en la red, siendo necesarias solo inversiones puntuales. Sin embargo, los costes de inversión usando sistemas de recarga inteligente son prácticamente nulos, especialmente en los centros de transformación y en la red de media tensión, gracias a que el control en la recarga hace que no se supere el margen de potencia disponible.

Donde resultan de más importancia las recargas poco agresivas es en los centros de transformación, ya que necesitarían un incremento en inversión de hasta el

34%. En la red de media tensión también se hace patente la presencia de recargas no responsables con el sistema al necesitar un 13,4% más de inversión.

La **localización de los puntos de recarga** también tiene especial relevancia en la red, ya que no es lo mismo que las recargas se efectúen en los múltiples puntos de consumo a nivel doméstico (denominada recarga distribuida en baja tensión) o en aparcamientos de centros comerciales, electrolinerías o estaciones de tren (denominada recarga concentrada en media tensión). La Figura 7.10 muestra el impacto de la recarga distribuida en la red de media y baja tensión dependiendo si se realiza una recarga en horas valle, punta o con sistemas inteligentes.

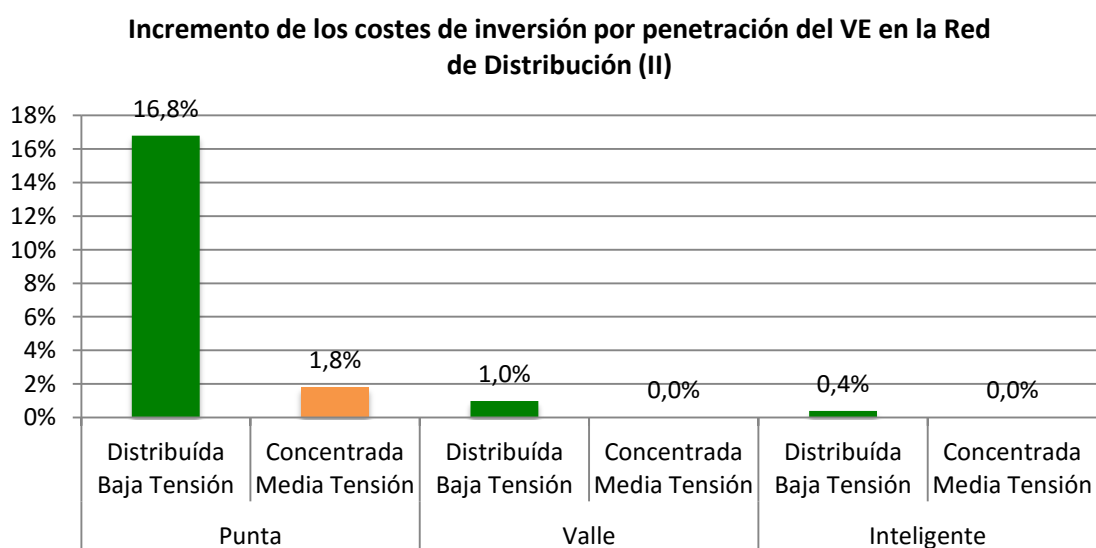


Figura 7.10 Incremento en los costes de inversión en la red de distribución (Fuente: [10], Elaboración propia)

En la Figura 7.10 se aprecia que la recarga concentrada en la red de media tensión elimina la necesidad de refuerzos tanto en la red de baja tensión como en las subestaciones que conecten la red de media con la de baja tensión. La inversión adicional del 1,8% en la red de media tensión estaría localizada en los propios puntos de recarga, que al ser nodos de potencia singular localizados, la inversión se centraría en esos puntos y no afectarían al conjunto de la red de distribución.

En el caso de que la recarga se efectúe a nivel doméstico en baja tensión, recargas generalizadas a altas potencias o fuera del horario nocturno harán necesarias inversiones en la red de distribución, ya que los hogares aumentarán su potencia contratada de manera que permita la recarga del VE en cualquier momento del día, por lo que aumentaría el pico de demanda eléctrica, sobre todo si estas recargas se efectúan fuera del horario nocturno. Esto obligará e inversiones adicionales en la red de baja tensión.

Debido a que el coste y las dimensiones de la infraestructura necesaria para la recarga a alta potencia hará que se produzca una concentración de los puntos de recarga rápida, se puede obtener la conclusión de que las necesidades de recarga

rápida en electrolineras, centros comerciales, etc., hará casi inevitable la instalación de nuevos centros de transformación o la ampliación de capacidad de los mismos.

A modo de ejemplo, en la Figura 7.11, se observa la curva de demanda de electricidad en un centro de transformación ejemplo de 3.000 kVA, donde el consumo máximo ronda los 2.400 kW. Si se adoptan recargas masivas a potencias superiores a 40 kW, el margen de potencia no será suficiente para un gran número de VE. Sin embargo, en horas valle hay margen suficiente para una gran integración de vehículos eléctricos.

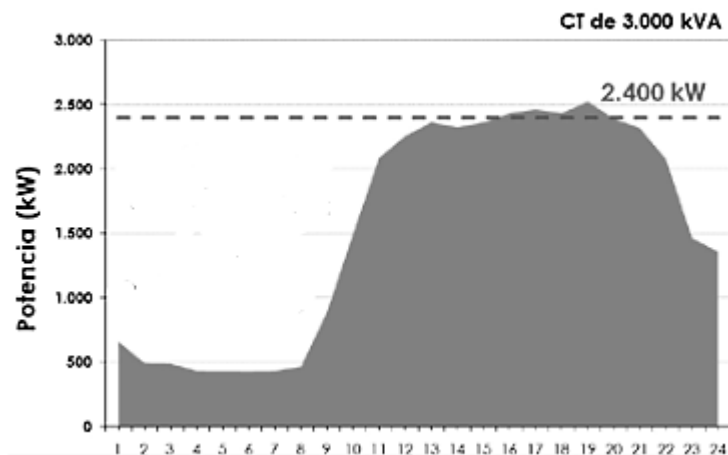


Figura 7.11 Ejemplo de curva de demanda de un centro de transformación (Fuente: HC Energía)

El desplazamiento de las recargas a horas valle es enormemente beneficioso para el ahorro en nueva infraestructura. Sin embargo, la inclusión de un sistema de gestión de la recarga amortizaría aún más la red ya instalada, aunque requeriría de una gran inversión en sistemas de control y comunicaciones.

Dicho sistema inteligente de recarga está basado en la comunicación bidireccional entre el VE y el centro de transformación en tiempo real (explicado en Capítulo 7.2.2). De este modo, la empresa encargada de la red de distribución podría enviar la información a las subestaciones de conexión con la red de transformación, de tal manera que el OS utilice esta información para realizar acciones beneficiosas para el sistema, como maximizar la seguridad de la operación del sistema eléctrico mediante órdenes de paralización parcial o total de la recarga si las condiciones son lo suficientemente adversas. Por tanto, este sistema de control requiere de una gran inversión pero sus beneficios abarcan más allá de la optimización de la red de distribución.

Líneas de actuación presentes y futuras

El estado actual de las baterías de Ion-Litio no recomienda el uso prolongado de la recarga a altas potencias, por lo que la problemática de la recarga rápida continuada se verá limitada por el desarrollo de las tecnologías en baterías. Es por ello que en base a la velocidad en la evolución de las baterías, los escenarios con horizonte 2020 no contemplan la recarga rápida dentro de la principal problemática para la red de distribución.

En escenarios con altos niveles de penetración de VE, una estrategia basada únicamente en la discriminación horaria resultará insuficiente para las necesidades del sistema, ya que la simultaneidad de las recargas puede provocar picos de demanda en las primeras horas del actual periodo valle nocturno, por lo que a largo plazo será necesario un sistema inteligente de la recarga que evite este tipo de situaciones. Esta situación ha sido estudiada con la aplicación desarrollada, los resultados se encuentran en el Capítulo 9.

Hoy en día, la comunicación bidireccional no es más que una posibilidad a muy largo plazo, ya que implica que el OS tenga acceso a todas las recargas que se efectúen en cualquier momento en el sistema, para lo cual es necesario un sistema de control por cada punto de recarga existente, los cuales en un futuro pueden ser millones. Como similitud en España está el servicio de Interrumpibilidad, (ver Capítulo 4.2) pero en este caso los puntos de control rondan la centena y la potencia a variar por punto de control es muy elevada, por lo que es un método más efectivo y simple que la posibilidad de la comunicación bidireccional.

7.4 Impacto económico en el precio de la electricidad

Una vez analizadas las ventajas para el sistema eléctrico de la recarga en valle y los desajustes que habría con la recarga masiva en periodos punta, las instituciones, con el objetivo de optimizar el sistema, crean tarifas que premian económicamente a los usuarios que consuman electricidad en periodos valle. En este Capítulo se analizará el PVPC, origen de la Tarifa Vehículo Eléctrico y el proceso de formación del precio de la electricidad, en concreto la componente de la energía correspondiente al mercado diario, formándose en consecuencia el mix energético en cada momento.

7.4.1 Precio voluntario del pequeño consumidor (PVPC)

El PVPC (Precio voluntario del pequeño consumidor) es el precio máximo que pueden cobrar las comercializadoras de referencia a los suministros de menos de 10 kW que se acojan a dicha tarifa. Este valor solo afecta a la parte variable del recibo, comúnmente llamada término de energía. Fue establecido por el Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación.

El PVPC se divide en tres tarifas:

- Tarifa por defecto Peaje 2.0 A: Tarifa de un solo periodo, por lo que el precio de la electricidad es prácticamente lineal durante las 24h del día.
- Tarifa 2 periodos Peaje 2.0 DHA: Tarifa de dos periodos
 - Punta en invierno: 12-22h
 - Punta en verano: 13-23h
 - Valle en invierno: 22-12h
 - Valle en verano: 23-13h

- Tarifa Vehículo Eléctrico Peaje 2.0 DHS: Tarifa de tres periodos
 - Punta: 13-23h
 - Valle: 23-1h / 7-13h
 - Supervalle: 1-7h

El precio de la electricidad completo (sin impuestos) tiene distintas componentes. A modo de ejemplo, se muestran los valores correspondientes a la Tarifa Vehículo Eléctrico del día 16/03/16 a las 4h y la gráfica comparativa de las 3 tarifas disponibles en el PVPC (precio a las 4h):

- Mercado diario e intradiario: 31,32 €/MWh
- Servicios de ajuste: 4,44 €/MWh
- Peaje de acceso: 0,89 €/MWh
- Pago por capacidad: 0,72 €/MWh
- Servicio de interrumpibilidad: 2,52 €/MWh
- Financiación OS: 0,12 €/MWh
- Financiación OM: 0,03 €/MWh
- Precio resultante: 39,76 €/MWh

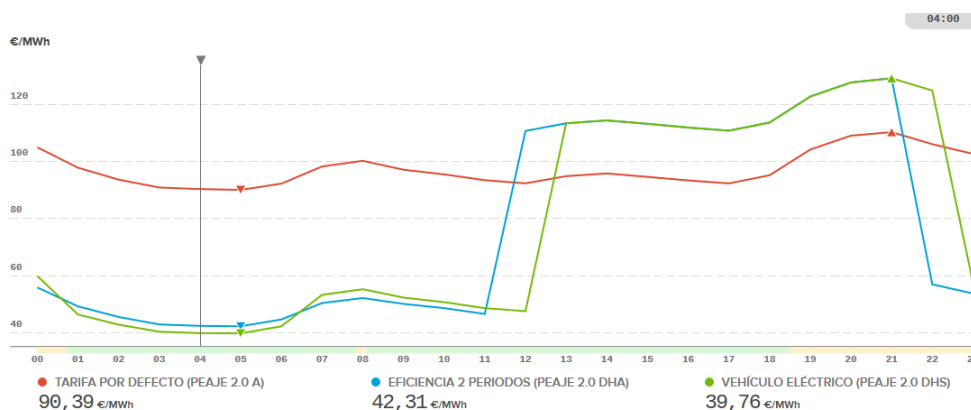


Figura 7.12 Cotización PVPC a día 16/03/16 (Fuente: esios)

Con el propósito de estudiar las distintas posibilidades del coste de la electricidad para recargar los vehículos eléctricos, se muestran en la Tabla 7.1 los valores promedio del término de facturación de energía activa en 2015 (€/MWh).

El término de facturación de energía activa se divide en dos componentes:

- Coste de la energía, dependiente del mercado de electricidad.
- Peajes de acceso, el cual es un importe fijado por el Gobierno para retribuir todas las actividades necesarias que conlleve el suministro eléctrico.

PVPC Promedio 2015 - Término de facturación de energía activa (€/MWh)

Tarifa VE Peaje 2.0 DHS			Tarifa 2 periodos Peaje 2.0 DHA			Tarifa por defecto Peaje 2.0 A		
Punta	Peaje acceso	62,01	Punta	Peaje acceso	62,01	Único periodo	Peaje acceso	44,02
	Energía	84,11		Energía	82,75		Energía	78,66
	Total	146,12		Total	144,76		Total	122,68
Valle	Peaje acceso	2,87	Valle	Peaje acceso	2,21			
	Energía	71,53		Energía	62,66			
	Total	74,4		Total	64,87			
Supervalle	Peaje acceso	0,88						
	Energía	56,82						
	Total	57,7						

Tabla 7.1 PVPC Promedio 2015 (Fuente: REE, Elaboración propia)

Con estos valores se puede hacer una comparativa entre tarifas sobre el coste de recargar un vehículo eléctrico (Tabla 7.2). En este caso se quiere realizar una recarga de potencia 3,6 kW durante 7h, lo que resulta en 25 kWh de consumo.

PVPC 2015 – Coste de una recarga de 25 kWh

Tarifa VE		Tarifa 2 periodos		Tarifa por defecto	
Punta	3,65 €	Punta	3,62 €	Periodo único	3,07 €
Valle	1,86 €	Valle	1,63 €		
Supervalle	1,44 €				

Tabla 7.2 Coste de una recarga de 25 kWh (Fuente: Elaboración propia)

Una breve comparación del coste por kilómetro recorrido de un vehículo gasolina, suponiendo consumos estándar de 6L/100km y 16 kWh/100km, denota la diferencia de costes entre ambos tipos de vehículos (Tabla 7.3), aunque esa diferencia en realidad es menor al estar, en este cálculo, el coste de la electricidad exento de impuestos:

Coste gasolina (€/L)	Consumo (L/100km)	€/100km
1,219	6	7,314
Coste electricidad (€/kWh)	Consumo (kWh/100km)	€/100km
0,0577	16	0,9232

Tabla 7.3 Coste por kilómetro (Fuente: Elaboración propia)

A modo de ampliación, en la Figura 7.13, se observa como varía el precio del mercado diario desde 2012. En 2016 el precio del mercado diario está sufriendo una bajada inusual en relación a lo acontecido en el año 2015, donde el precio del mercado diario estuvo en valores entre los 40 y los 60 €/MWh.

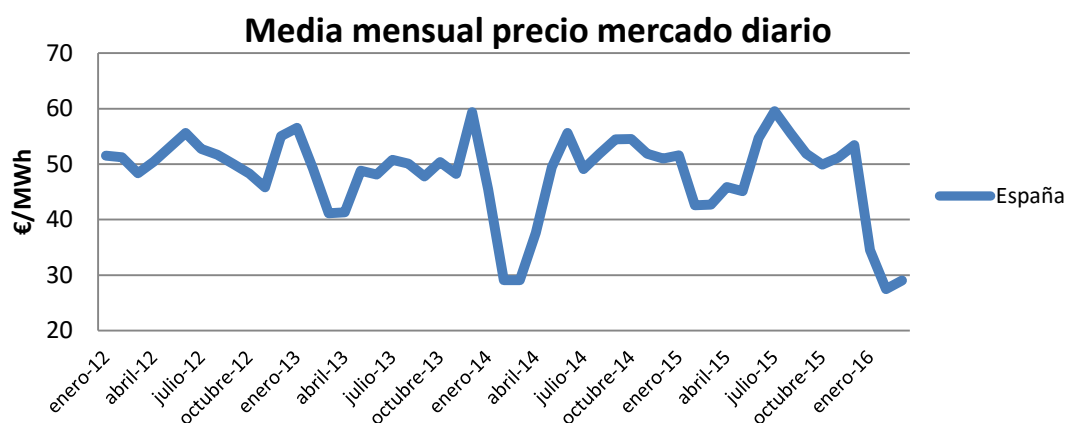


Figura 7.13 Media mensual precio mercado diario (Fuente: Elaboración propia, OMIE)

7.4.2 Formación del precio de la electricidad y del mix energético

Debido a que la variabilidad de la Tarifa Vehículo Eléctrico depende en su mayor parte del precio del mercado diario, su análisis se considera de suficiente relevancia para el objetivo de analizar el impacto económico.

Los intercambios de energía se producen en las subastas horarias que organiza el Operador de Mercado (véase Capítulo 3.3.2). El mercado eléctrico responde al sistema de *pool* eléctrico, esto es, los agentes vendedores de energía eléctrica envían ofertas de venta al Operador de Mercado por cada uno de sus grupos generadores. Los agentes están obligados a ofertar toda su energía disponible de manera individualizada para cada uno de sus grupos generadores.

El precio y el volumen de energía en una hora determinada se establecen por el cruce entre la oferta y la demanda. El mix de producción energética en cada hora se forma a partir de la elección de las distintas tecnologías de generación ofertadas en el mercado hasta cubrir la demanda prevista en esa hora, al mínimo coste. Es decir, se compra la energía más barata disponible en cada momento hasta completar la demanda, atendiendo también a criterios de seguridad.

Para cubrir la demanda, hay que tener en cuenta que cada tecnología es óptima para un determinado tiempo de funcionamiento (horas al año). Por esta razón, los grupos generadores se pueden clasificar en: centrales base, centrales intermedias y centrales punta.

- Los grupos generadores base corresponden a las centrales nucleares, algunas centrales de carbón y algunos ciclos combinados. Sus altos costes fijos (inversión, mantenimiento, etc.) y sus bajos costes variables, hacen estas tecnologías adecuadas para funcionar un alto número de horas al año. En concreto se minimizan los arranques y paradas de estos generadores.

- Los grupos generadores intermedios son las centrales térmicas convencionales, como carbón o los ciclos combinados. Presentan distintas características, ya que las centrales de gas natural y fuelóleo son flexibles mientras que las de carbón son más rígidas.
- Los grupos generadores punta son las centrales hidráulicas y las turbinas de gas. Son tecnologías con costes fijos muy bajos pero costes variables elevados, por tanto son adecuadas para funcionar cubrir las horas donde mayor demanda hay.

De la Figura 7.14, que muestra la composición de la demanda anual, observando las pendientes de los costes totales, se obtiene la conclusión de que para conseguir el coste mínimo total, en un número máximo de horas al año de funcionamiento “P”, las tecnologías punta son las más adecuadas, en un número máximo de horas “B”, las tecnologías intermedias son las óptimas, mientras que la generación base es adecuada para un periodo de tiempo lo más amplio posible, en este caso por encima de “B”.

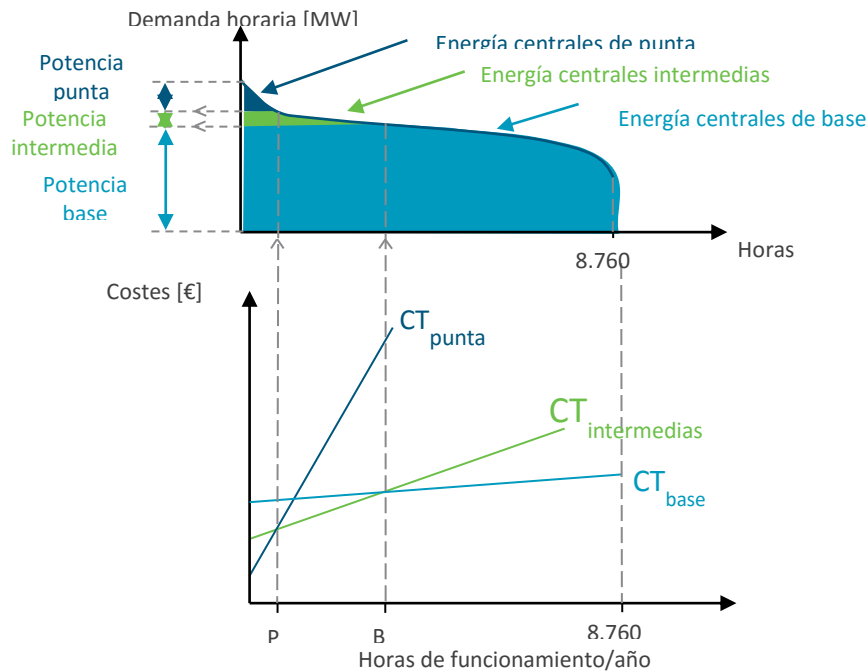


Figura 7.14 Tecnologías óptimas en función de su tipología y sus horas de funcionamiento al año
(Fuente: Energía y Sociedad, Elaboración propia)

Las energías renovables tienen obligación de presentar ofertas al mercado, si bien son precio aceptantes, ya que los generadores que reciben primas de las Instituciones se retribuyen a 0€/MWh y los generadores que no reciben ninguna prima ofertan sus costes variables, los cuales son lo suficientemente bajos como para poder entrar en el mix energético.

En la práctica supone que toda la generación de origen renovable que se presenta al mercado diario queda automáticamente casada, desplazando fuera del mix de generación a las centrales más caras que no funcionarán, y en definitiva, abaratando el precio de la electricidad.

En la Figura 7.15 se muestra la composición habitual de la curva de oferta, donde se aprecia la importancia que tienen las tecnologías más flexibles para dar respuesta a las puntas de consumo.

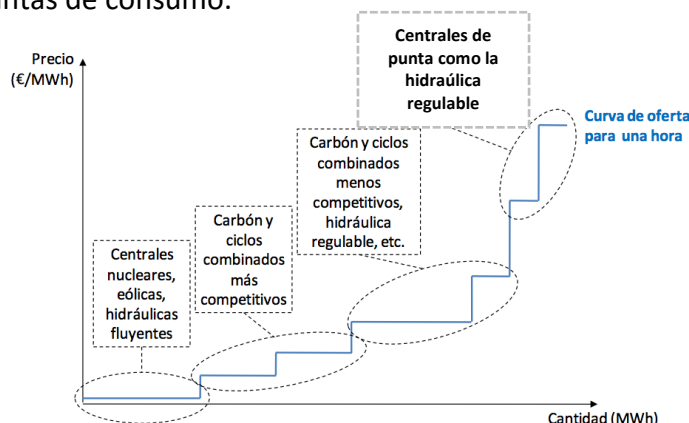


Figura 7.15 Curva de oferta de electricidad del mercado (Fuente: Energía y Sociedad)

El precio de la componente de energía de la electricidad se completa con el mercado intradiario, los servicios de ajuste y las pérdidas, que son las ocasionadas en la red de transporte y distribución desde las barras de central hasta el punto de suministro.

En conclusión, si el vehículo eléctrico logra mayor integración de energías renovables mediante los sistemas analizados en el Capítulo 7.2, el impacto económico será positivo, ya que sustituirá horas de funcionamiento de grupos generadores más caros.

7.5 Impacto en el Medio Ambiente. Electricidad como combustible

Desde la Unión Europea, se considera que el transporte es causa del 25% de las emisiones contaminantes. Es por ello que la regulación acerca de las emisiones es actualizada constantemente, en busca de una reducción cada vez mayor de las emisiones. Aunque se optimicen los motores de combustión interna al máximo, siempre existirá un límite tecnológico, por tanto, las futuras reducciones en los límites de emisiones se toparán con este límite. Esta situación lleva a incorporar nuevas tecnologías basadas en motores eléctricos.

A continuación, en la Tabla 7.4, se detalla la evolución histórica (desde 1993 a actualmente) de la normativa común europea sobre los límites de emisiones, en la categoría de turismos:

Evolución normativa Euro sobre límites de emisiones contaminantes

	CO	HCT	HCNM	HCT+NOx	PM
Diésel					
Euro 1	2,72	-	-	0,97	0,14
Euro 2	1	-	-	0,9	0,1
Euro 3	0,64	-	-	0,56	0,05
Euro 4	0,5	-	-	0,3	0,025
Euro 5	0,5	-	-	0,23	0,005
Euro 6	0,5	-	-	0,17	0,005
Gasolina					
Euro 1	2,72	-	-	0,97	-
Euro 2	2,2	-	-	0,5	-
Euro 3	2,3	0,2	-	-	-
Euro 4	1	0,1	-	-	-
Euro 5	1	0,1	0,068	-	0,005
Euro 6	1	0,1	0,068	-	0,005

Tabla 7.4 Histórico de normativa Euro sobre emisiones contaminantes en turismos 1993-actualmente (Fuente: Elaboración propia, Eur-Lex)

Nota: CO=Monóxido de Carbono. HCT=Hidrocarburos. HCNM=Hidrocarburos no metanos. NOx=Óxidos de nitrógeno. PM=Partículas

Se aprecia en la Tabla 7.4 el estancamiento en el aumento de las limitaciones de las emisiones debido a los límites tecnológicos de los motores de combustión. Este estancamiento también es debido a la importancia que tiene la industria automovilística en la economía mundial, que hace que en tiempos de crisis económica no se tienda a poner dificultades extras a la industria, como puede ser mayor inversión en limitar la salida de contaminantes.

En la Tabla 7.5 se detallan los límites en la normativa actual, la Euro 6:

Límites de emisiones Euro 6

		Masa de referencia (MR) (kg)	Valores límite													
			Masa de monóxido de carbono (CO)		Masa total de hidrocarburos (HCT)		Masa de hidrocarburos no metanos (HCNM)		Masa de óxidos de nitrógeno (NO _x)		Masa combinada de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno totales (HCT + NO _x)		Masa de partículas (PM)		Número de partículas (P) ⁽⁴⁾	
			L ₁ (mg/km)		L ₂ (mg/km)		L ₃ (mg/km)		L ₄ (mg/km)		L ₂ + L ₄ (mg/km)		L ₅ (mg/km)		L ₆ (#/km)	
Categoría	Clase		PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI (4)	CI	PI	CI
M	—	Todos	1 000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	5,0	5,0		
N ₁	I	MR ≤ 1 305	1 000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	5,0	5,0		
	II	1 305 < MR ≤ 1 760	1 810	630	130	—	90	—	75	105	—	195	5,0	5,0		
	III	1 760 < MR	2 270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	5,0	5,0		
N ₂			2 270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	5,0	5,0		

Clave: PI = encendido por chispa, CI = encendido por compresión.

Tabla 7.5 Límites de emisiones Euro 6 (Fuente: Reglamento (CE) 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de junio de 2007 sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos)

El vehículo eléctrico no es un medio de transporte libre de emisiones, ya que la producción de electricidad está ligada de mayor o menor manera a diversas tecnologías entre las que se encuentran los combustibles fósiles.

Las emisiones contaminantes de la electricidad las marca el mix energético. El mix energético varía cada hora, ya que como se ha definido en el Capítulo 7.4, la inserción de determinadas tecnologías depende de factores como la fiabilidad y el coste. Por tanto se deben analizar las características de la generación en España y su contenido en contaminantes.

La generación libre de emisiones de CO₂ en 2015 fue de 17.667 MW, incluida la energía nuclear. El dato totalmente libre de contaminantes (ya que la energía nuclear no produce emisiones de CO₂ pero sí residuos) es de 11.420 MW.



Figura 7.16 Generación libre de CO₂ total en 2015 (MW) (Fuente: Avance informe anual REE)

En la Figura 7.16 se puede ver el histórico de emisiones de CO₂ desde 2011, de donde se extrae que en el año 2015 se emitieron más de 70 millones de toneladas de CO₂ asociadas a la generación de electricidad.

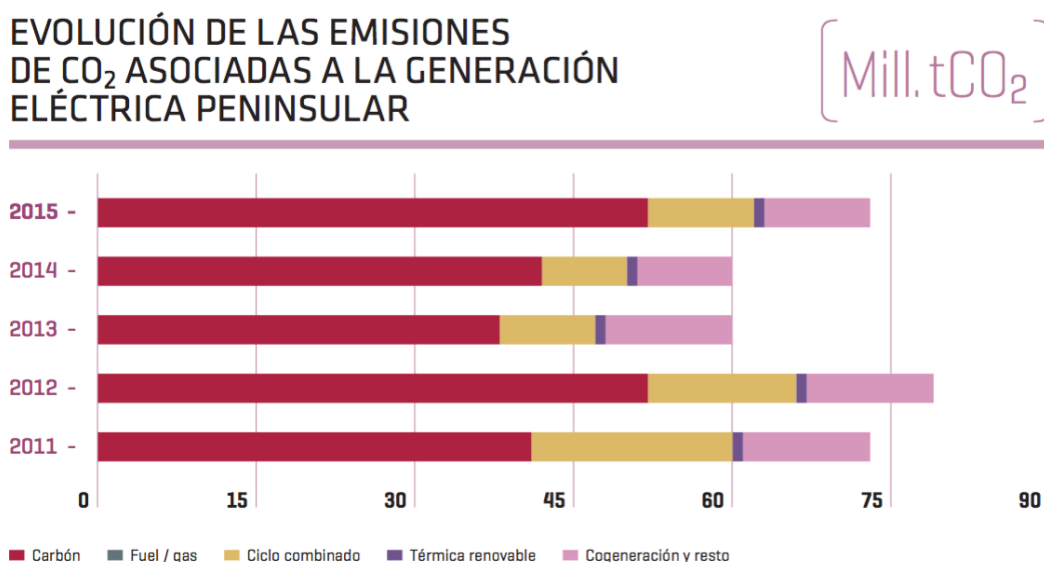


Figura 7.17 Evolución de las emisiones de CO₂. (Fuente: Avance informe anual REE)

En caso de que el lector quiera conocer las emisiones de un mix energético en particular, las emisiones relacionadas con la generación¹⁶ son las siguientes:

- Central térmica de carbón: 0,95 KgCO₂/kWh
- Ciclo combinado de gas natural: 0,37 KgCO₂/kWh
- Central térmica de fuel + gas natural: 0,70 KgCO₂/kWh
- Régimen especial: ≈ 0,25 KgCO₂/kWh (valor medio)
- Central nuclear: 0 KgCO₂/kWh
- Eólica, Hidráulica, Solar, Fotovoltaica: 0 KgCO₂/kWh

Para calcular las emisiones de un vehículo eléctrico, hay que calcular las emisiones del mix energético.

Según datos oficiales de REE, la generación de energía eléctrica en la Península en 2015 fue de 254,47 TWh. El total de emisiones peninsulares en el mismo periodo fue de 73 millones de toneladas de CO₂.

$$\frac{\text{Generación emisiones}}{\text{Generación neta electricidad}} = \frac{73 * 10^6}{254,473 * 10^6} \frac{tCO_2}{MWh} = 0,286 \frac{tCO_2}{MWh} = 286 \frac{gCO_2}{kWh}$$

Para un consumo medio de 15 kWh/100km, como es el caso del VE Nissan Leaf:

$$\frac{15 kWh}{100 km} * 286 \frac{gCO_2}{kWh} = 42,9 \frac{gCO_2}{km}$$

Las emisiones producidas en los vehículos de combustión interna son:

- Gasolina: 2,3 KgCO₂/L
- Diésel: 2,6 KgCO₂/L

Como referencia para la comparación, se usarán los parámetros correspondientes a uno de los modelos más vendidos en España en 2015, el Seat León 1.4 TSI 110 CV, el cual homologa un consumo de 3,4 L/100 km¹⁷, siendo 5 L/100 km una cifra más aproximada a la realidad¹⁸.

$$\begin{aligned} \text{Generación emisiones gasolina} * \text{Consumo del vehículo} &= \\ &= 2300 \frac{gCO_2}{L} * 5 \frac{L}{100 km} = 115 \frac{gCO_2}{km} \end{aligned}$$

Comparando dos de los modelos más vendidos de su segmento en 2015 en España, se obtiene una relación aproximada de 1:3 entre emisiones de CO₂, por lo que la reducción de emisiones de CO₂ se hace evidente.

¹⁶ IDAE “Mapa Tecnológico Movilidad Eléctrica” (Ver Bibliografía)

¹⁷ Seat España (Ver Bibliografía)

¹⁸ AutoBild.es (Ver Bibliografía)

Sin embargo, esta diferencia se amplía si se tienen en cuenta las emisiones causadas por la extracción, transporte y refinado del petróleo para conseguir la gasolina que se introduce en el vehículo, aunque en la generación y en el transporte de electricidad también hay pérdidas. Por tanto, se distinguen dos conceptos, las emisiones *Well to Tank* (del pozo al depósito) y emisiones *Tank to Wheel* (del depósito a la rueda). Por último, la combinación de ambos conceptos es *Well to Wheel* (del pozo a la rueda).

Tipo de motor	<i>Well-to-Tank</i>	<i>Tank-to-Wheel</i>	<i>Well-to-Wheel</i>
Motor eléctrico	42,9 gCO ₂ /km	0	42,9 gCO ₂ /km
Motor alternativo	20 gCO ₂ /km	115 gCO ₂ /km	135 gCO ₂ /km

Tabla 7.6 Descomposición de emisiones (Fuente: Elaboración propia)

Por último, cabe destacar que no solo se reducirían las emisiones de CO₂, sino que también disminuirían las emisiones de otros gases como los óxidos de nitrógeno (NOx), las partículas en suspensión generadas por los motores diésel, o el monóxido de carbono, perjudiciales para la salud, ya que no se pueden respirar en altas proporciones (cabe recordar que aunque el CO₂ es el principal causante del efecto invernadero, puede ser respirado por el ser humano). La reducción se debe principalmente a que el conjunto de la generación eléctrica tiene mayor rendimiento que los motores térmicos, por lo que se producen menos emisiones de CO₂ por kWh generado; y porque los focos de emisiones estarían lejos de los núcleos urbanos, por lo que la concentración de estos gases en el aire (ppm) se reduciría drásticamente.

7.6 Evolución de ventas de vehículos eléctricos enchufables

En España, en 2015, el número de ventas de vehículos eléctricos enchufables a la red (EV y PHEV) ha sido de 2.342 unidades, consiguiendo un 0,2% de cuota de un mercado que ha alcanzado en 2015 la cifra de 1,03 millones de vehículos vendidos. El crecimiento de ventas respecto a 2014 ha sido del 28,5%, muy inferior al crecimiento del 70% a nivel mundial que ha experimentado el sector. Han destacado especialmente el Nissan Leaf con 344 unidades vendidas, el Renault Zoe con 312 ventas, y el Smart ForTwo ED con 388 ventas, de las cuales 350 han sido para la compañía Car2Go.

A nivel mundial muchos países han establecido compromisos nacionales para la descarbonización del parque automovilístico. Las medidas se basan en ventajas fiscales, subvenciones especiales a la compra o una política especial más restrictiva aplicable a los vehículos con motores alternativos. Estos objetivos se basan en mantener un crecimiento constante interanual de ventas de aproximadamente el 70%, línea a la que se ha llegado en 2015. De seguir así y cumplir los objetivos, en el año 2020 habría 15 millones de vehículos eléctricos circulando, lo que se traduciría en un 7% de cuota de mercado automovilístico global.¹⁹

¹⁹ Gloval EV Outlook 2015 (IEA). (Ver Bibliografía)

En 2015 se vendieron en Europa 192.500 vehículos eléctricos, incluyendo turismos y vehículos industriales ligeros. En concreto, en Europa ha habido una aceleración en las ventas del 99%, consiguiendo una cuota de mercado del 1,24%, superando la cuota de 2014 del 0,66%. En conclusión, se han doblado las ventas con respecto a 2014, suponiendo un 29% de las ventas mundiales. El BMW i3 ha sido el modelo más destacado, con 25.600 ventas durante el año.

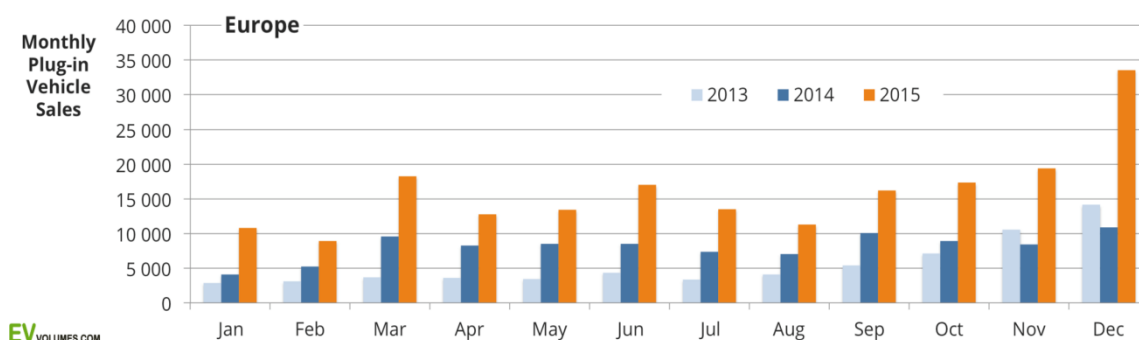


Figura 7.18 Ventas mensuales en Europa 2015 (Fuente: EV-Volume)

En el total mundial, se vendieron 540.000 vehículos eléctricos, logrando un crecimiento del 71%. El crecimiento de 2014 respecto al año anterior fue del 50%. La cuota mundial de mercado ha sido en 2015 del 0,6%.

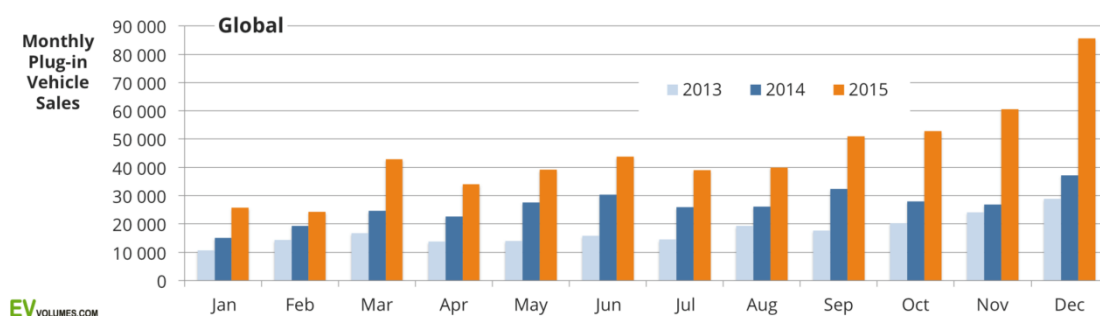


Figura 7.19 Ventas mensuales mundiales en 2015 (Fuente: EV-Volume)

Sin embargo, el crecimiento fue desigual en las distintas regiones. En la Figura 7.19 se puede observar como en EE.UU. y en Japón se produjo un decrecimiento en la evolución de las matriculaciones de vehículos eléctricos. Las causas que se atribuyen son, en el caso japonés, que su principal motor de ventas, el Nissan Leaf, ha quedado obsoleto y por tanto poco atractivo para un crecimiento de ventas. Por el lado estadounidense, su crecimiento ha disminuido 4 puntos porcentuales respecto a 2014, en gran medida por la pérdida de participación de Ford en el sector eléctrico y el retraso en la producción del Chevy Volt Gen-1, gran esperanza de los vehículos eléctricos en EE.UU. Aun así, el fabricante más innovador, Tesla, ha seguido en línea ascendente y sus modelos han sido un éxito, en especial el Model S. En el caso de China, la evolución fue muy grande, triplicando las ventas del 2014, hasta conseguir un tercio del total de ventas globales. El modelo más vendido ha sido el BYD Qin, con 31.900 unidades.

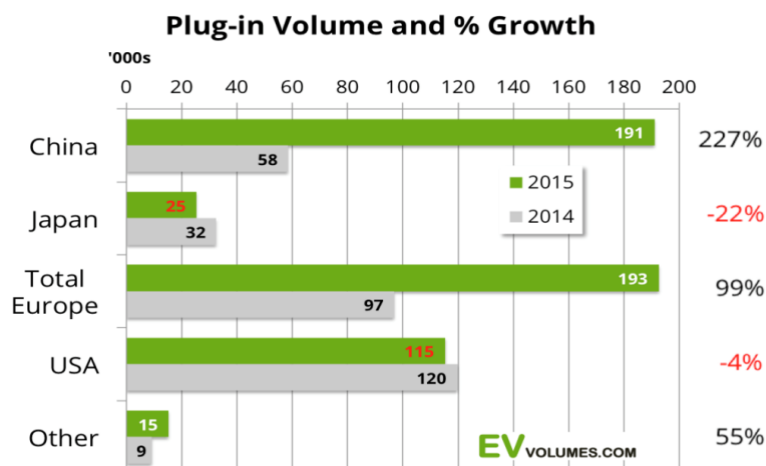


Figura 7.20 Variación porcentual de ventas por territorios (Fuente: EV-Volume)

Las previsiones de ventas para el año 2016 indican un retroceso en el crecimiento de ventas en China y Europa, y recuperación de los mercados japoneses y estadounidenses, hipótesis confirmadas con los datos publicados correspondientes al primer trimestre de 2016²⁰. Cabe mencionar el impacto del Tesla Model 3, modelo que ha conseguido 373.000 reservas (dato de Abril 2016). La cifra de ventas estimadas para 2016 es de 800.000 unidades, con lo que se alcanzaría la cifra de 2 millones de vehículos eléctricos enchufables en las carreteras (Figura 7.21).

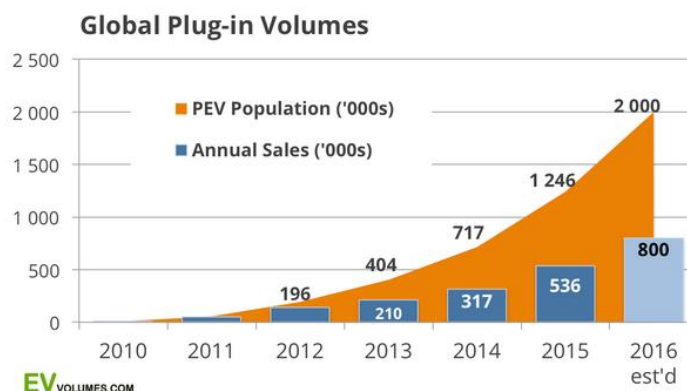


Figura 7.21 Crecimiento de ventas de vehículos eléctricos enchufables (2015) (Fuente: EV-Volume)

En conclusión, las ventas de VE dependen en gran medida de las ayudas fiscales o subvenciones a la compra por parte de las instituciones, ya que a día de hoy, no pueden competir en relación precio/prestaciones con el vehículo tradicional. Se puede extraer del análisis que las diferencias de ventas entre meses corresponden a inicios o fines de periodos de promociones por parte de las instituciones, aparte de lanzamientos de modelos atractivos para el comprador. Sin embargo, estas diferencias de precios con los vehículos tradicionales se están reduciendo, por lo que se presupone que las ventas irán en incremento en los próximos años, aunque no se puede hacer una previsión exacta de número de ventas debido a la los múltiples factores que afectan a su integración.

²⁰ EV-Volume (Ver Bibliografía)

8 Marco regulatorio del vehículo eléctrico

I. Ley 19/2009, de 23 de noviembre, de medidas de fomento y agilización procesal del alquiler y de la eficiencia energética de los edificios.²¹

Dado que en el caso de garajes privados multifamiliares, la infraestructura para la recarga del vehículo eléctrico debe disponer de distintos elementos de propiedad común de la comunidad, son varios los estamentos que se establecen para regular estas situaciones.

Si algún vecino quiere instalar un punto de recarga en su plaza de aparcamiento privada, solo debe comunicarlo a la comunidad de vecinos, corriendo el usuario del punto de recarga con todos los gastos, ya que la Ley cita textualmente:

“Si se tratara de instalar en el aparcamiento del edificio un punto de recarga de vehículos eléctricos para uso privado, siempre que éste se ubicara en una plaza individual de garaje, sólo se requerirá la comunicación previa a la comunidad de que se procederá a su instalación. El coste de dicha instalación será asumido íntegramente por el o los interesados directos de la misma”.

Sin embargo, en Cataluña se establece mediante la **Ley 5/2006, de 10 de mayo, del Libro Quinto del Código Civil de Cataluña**, que dicha instalación debe aprobarse en una votación de la junta de vecinos. La junta puede proponer alternativas y los votos necesarios para aprobar un proyecto serán por mayoría simple.

II. Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética.²²

Este Real Decreto incluye en el marco normativo los gestores de cargas del sistema, que cita “que prestarán servicios de recarga de electricidad, necesarios para un rápido desarrollo del vehículo eléctrico como producto industrial que aúna las características de tecnológicamente innovador, capaz de generar un nuevo sector de actividad con potencial de crecimiento e instrumento de ahorro y eficiencia energética y medioambiental”.

Es decir, el gestor de cargas es un agente de mercado que puede acceder al mercado mayorista a comprar energía para luego revenderla para su uso en recargas de vehículos eléctricos.

La legislación cita como únicos derechos del gestor de carga:

²¹Ley 19/2009, de 23 de noviembre (Ver Bibliografía)

²² Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo (Ver Bibliografía)

- Actuar como agentes del mercado en el mercado de producción de electricidad.
- Acceder a las redes de transporte y distribución en los términos previstos en la normativa.
- Facturar y cobrar la energía entregada en la reventa para servicios de recarga energética para vehículos eléctricos.

Como obligaciones destacables, el RD cita:

- Contratar y abonar el peaje de acceso correspondiente a la empresa distribuidora para cada uno de los puntos de conexión a las redes con destino al consumo de energía eléctrica, para su propio uso y para la reventa de energía eléctrica para servicios de recarga energética para vehículos eléctricos que realice.
- Transcurridos tres años desde la comunicación de inicio de la actividad de gestor de cargas del sistema, si durante un periodo continuado de un año la empresa no hubiera hecho uso efectivo y real de la misma ejerciendo la actividad y, por tanto, no hubiera revendido energía eléctrica para recarga de vehículos eléctricos, o si tal uso hubiera sido suspendido durante un plazo ininterrumpido de un año, se determinará la prohibición de continuar en el ejercicio de la actividad de gestor de cargas del sistema.
- No se especifican obligaciones en cuanto al tipo de cargador a utilizar, dejando libertad en este aspecto.

Este Real Decreto también detalla los distintos periodos tarifarios, estableciendo el periodo P3 como “supervalle”. A continuación, en la Tabla 8.1 se muestran los intervalos horarios:

Periodos tarifarios	P1	P2	P3
Intervalos horarios	13-23	0-1	1-7
		7-13	
		23-24	
	10 horas/día	8 horas/día	6 horas/día

Tabla 8.1 Periodos tarifarios recogidos en el RD 647/2011, de 9 de mayo (Fuente: Elaboración propia, BOE)

La tarifa P3 supervalle es la más barata, ya que coincide con las horas de menos demanda de energía y la tarifa P1 la más cara.

El 01/04/2014, entró en vigor la nueva tarifa para el vehículo eléctrico, la denominada Tarifa Vehículo Eléctrico, destinada a la recarga del VE y para potencias menores de 10 kW.

La tarifa está basada en el Precio Voluntario del Pequeño Consumidor (PVPC), (ver Capítulo 7.4.1). A aquellos consumidores que dispongan de un contador inteligente se les cobrará el precio horario de OMIE, aquellos que no dispongan del

contador inteligente se les aplicará la media mensual de los precios del mercado diario.

III. Artículo 4 del Real Decreto 1074/2015, de 27 de noviembre, por el que se modifican distintas disposiciones en el sector eléctrico.²³

La actividad del gestor de carga sufre una actualización, esta modificación se produce en el marco de los objetivos de la Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014 relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos, Directiva que exige a cada Estado miembro el establecimiento de una estrategia para la instalación de nuevos puntos de recarga de combustibles limpios.

A modo de resumen, los cambios aplicados son:

- El gestor de cargas deberá registrar en cada uno de sus puntos de recarga de manera diferenciada los consumos destinados a la recarga de vehículos eléctricos y los consumos de uso propio.
- Para el seguimiento por parte de la Administración, deberán ofrecer la recarga en al menos tres periodos horarios.
- Si transcurridos tres años desde el inicio de la actividad hay un periodo de un año ininterrumpido donde no se haya revendido energía eléctrica para la recarga de vehículos eléctricos, se decretará la prohibición del ejercicio de gestor de cargas del sistema.

IV. Directiva 2014/25/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014 relativa a la contratación por entidades que operan en los sectores del agua, la energía, los transportes y los servicios postales y por la que se deroga la Directiva 2004/17/CE²⁴

- Establece que los Estados miembros de la UE tienen de plazo dos años desde octubre de 2014 para definir el desarrollo de las infraestructuras de combustibles alternativos.
- Se establecen los conectores comunes a toda la Unión Europea, los Tipo 2 y los Combo 2, sin poner en detrimento el desarrollo en conectores que se haya realizado antes de la norma.
- Establece que se fomente la construcción de los puntos de recarga en zonas altamente pobladas pero que en ningún caso se sobredimensione la red, por lo que se debe tener en cuenta la previsión de ventas de coches eléctricos establecida para 2020.

²³ Artículo 4 del Real Decreto 1074/2015, de 27 de noviembre (Ver Bibliografía)

²⁴ Directiva 2014/25/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014 (Ver Bibliografía)

- Recoge que se debe fomentar la instalación de sistemas de medición inteligentes que ayuden al sistema eléctrico, sin perder de vista las razones económicas.
- Señala que la elección del equipamiento de los puntos de recarga normal y rápida se debe remitir a la legislación nacional.
- Los Estados miembros garantizarán que los precios cobrados por los gestores de los puntos de recarga accesibles al público sean razonables, fácil y claramente comparables, transparentes y no discriminatorios.

V. Real Decreto 1053/2014, por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 «Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos», del Reglamento electrotécnico para baja tensión.²⁵

Establece los siguientes puntos:

- En las nuevas construcciones que se rijan por la ley de propiedad horizontal, será necesario adecuar una preinstalación para futuras plazas de vehículos eléctricos.
- En los aparcamientos colectivos privados debe construirse una preinstalación para la posterior instalación de puntos de recargas, a cargo de la entidad constructora. Con preinstalación se entiende los espacios para la colocación de los sistemas, la estructura adecuada, las canalizaciones por donde irán los cables, etc. No incluye ni los cables, ni la maquinaria, ni el contador ni ningún sistema específico.
Cada usuario tiene la posibilidad de elegir entre el sistema de recarga colectivo, donde es común la línea eléctrica general con derivaciones a cada plaza, o si por el contrario prefiere una línea eléctrica vinculada con su vivienda.
- En los aparcamientos colectivos públicos será obligatorio instalar un punto de recarga por cada 40 plazas de aparcamiento.

Detalla los distintos tipos de esquemas posibles para la instalación de puntos de recarga, en función de la configuración eléctrica del emplazamiento, el espacio disponible, su uso final, etc., como por ejemplo, para gestores de carga, para garajes privados, para flotas de empresas, etc.

A modo de ejemplo, en la Figura 8.1 se muestra el esquema de una instalación colectiva con un contador principal y contadores secundarios individuales para cada estación de recarga. Cabe mencionar, que los comercializadores tienen propuestas distintas de como ofrecer esta disposición, ya que unos pretenden separar las facturas del hogar y de la energía consumida en la recarga del vehículo en dos facturas, y por tanto, que los contadores para ambos fines sean diferentes; y otros abogan por ofrecer todo el consumo en una sola partida.

²⁵ Real Decreto 1053/2014, por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 (Ver Bibliografía)

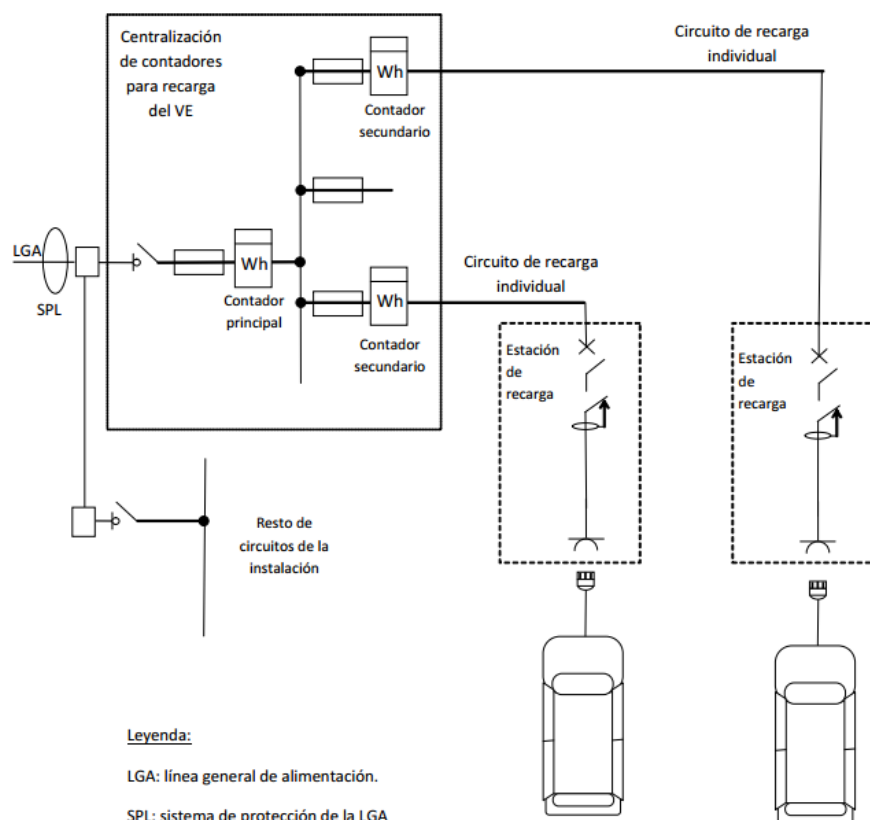


Figura 8.1 Esquema de una instalación colectiva con un contador principal y contadores secundarios individuales para cada estación de recarga (Fuente: BOE)

VI. Real Decreto 15/2016, de 15 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1078/2015, de 27 de noviembre, por el que se regula la concesión directa de ayudas para la adquisición de vehículos de energías alternativas, y para la implantación de puntos de recarga de vehículos eléctricos en 2016, MOVEA.

El Gobierno de España inició en el año 2014 un plan de ayudas económicas para la compra de vehículos con combustibles alternativos (MOVELE 2014) que actualiza con el Plan MOVEA 2016, como electricidad, GLPs (Gas licuado del petróleo), Gas Natural comprimido (GNC) y licuado (GNL) y pila de hidrógeno, así como motos eléctricas y bicicletas de pedaleo asistido por motor eléctrico. En esta actualización, quedan eliminadas las ayudas a los vehículos propulsados por pila de hidrógeno dado el estancamiento de dicha tecnología.

Las condiciones para la subvención más destacables son:

- Se limitan las ayudas a un vehículo por beneficiario para el caso de personas físicas y 35 vehículos para el caso de empresas y otros tipos de personas jurídicas.
- En el caso de las motocicletas, deben montar baterías de litio con una potencia igual o superior a 3 kWh y una autonomía mínima en modo eléctrico de 70 km.

- Las bicicletas eléctricas también deben llevar batería de litio y seguir la norma UNE–EN 15194:2009

En esta edición, se destinan 16.600.000 € en total, incluidas las ayudas para la instalación de puntos de recarga rápida y semirrápida en zonas públicas.

- Turismos (M1), cuadriciclos ligeros (L6e) y pesados (L7e): 4.500.000 euros.
- Autobuses o autocares (M2, M3), furgonetas, furgones, camiones ligeros y camiones (N1, N2, N3): 3.800.000 euros.
- Motocicletas (L3e, L4e, L5e): 300.000 euros.
- Bicicletas de pedaleo asistido por motor eléctrico: 200.000 euros.
- Para los vehículos propulsados por Gas Natural (GNC, GNL, bifuel): 2.000.000 euros.
- Para los vehículos propulsados por Gas licuado del petróleo (GLP, bifuel): 1.300.000 euros.

Incluye los vehículos eléctricos de hasta seis meses de antigüedad matriculados por los concesionarios.

En el caso de la infraestructura de recarga, se subvencionarán los sistemas de recarga rápida (potencia superior a 40 kW) y semirrápida (entre 15 kW y 40 kW) que se efectúen en Modo 3 y Modo 4 (ver Capítulo 6.7) siguiendo la norma UNE–EN 61851.

Las cuantías oficiales para la instalación de puntos de recarga para vehículos eléctricos son:

- Semirrápida: 1.000.000 euros.
- Rápida: 3.500.000 euros.

En la Tabla 8.2 se muestra, a modo de resumen, los diferentes descuentos a la compra de vehículos de energías alternativas.

Categoría	Homologación	MMTA (kg)	Autonomía (km)	Potencia batería (kW/h)	Ayuda Estatal (€)	Ayuda concesionario	Ayuda concesionario adicional punto recarga VE (€)	Límite precio venta (€)
Turismos (M1)	GLP o bifuel	-	-		1100	1000	-	10000
	GN o bifuel				2500			25000
	PHEV, EREV, EV		Entre 15 y 40		3000			25000
			Entre 40 y 90		2700	-	1000	32000
			Mayor de 90		3700			
Furgonetas y camiones ligeros (N1)	GLP o bifuel	Menor de 2500	-		5500			
		Mayor o igual 2500			2000	1000	-	-
	GN o bifuel	Menor de 2500			3000			
		Mayor o igual 2500			2500			
					5500			
Autobuses (M2), camiones ligeros (N2)	PHEV, EREV, EV	-	Mayor de 60		8000	-	1000	
	GLP, GN o bifuel	-	-		10000	1000	-	-
	PHEV, EREV, EV		Mayor de 60		8000	-	1000	
	GLP, GN o bifuel	Menor de 18000	-		10000	1000	-	
		Mayor o igual 18000			20000			
Autocares (M3), camiones (N3)	PHEV, EREV, EV	-	Mayor de 60			-	1000	
	EV	-	-		1950	-	150	-
	EV				2350			
	EV	-	Mayor de 70	Mayor o igual a 3 y menor a 4,5	1500	-	-	8000
				Mayor o igual a 4,5	2000			
Bicicletas eléctricas	EV	-	-		200	-	-	-
	Semirápida	-	-		2000	-	-	-
	Rápida	-	-		15000	-	-	-
Infraestructura recarga VE								

Tabla 8.2 Plan MOVEA 2016 (Fuente: IDAE, Elaboración propia)

9 Aplicación informática “Simulador impacto VE”

En este TFG, se ha desarrollado una aplicación informática para la simulación del impacto en el sistema eléctrico de la integración de un determinado porcentaje de vehículos eléctricos dentro del parque automovilístico español. Este análisis incluye la obtención de una gráfica que compara la curva de demanda del sistema eléctrico peninsular español estándar de cada una de las estaciones del año con la curva resultante con el incremento de demanda provocado por el VE. También la aplicación es capaz de analizar el impacto medioambiental y compararlo con el vehículo tradicional, mediante cálculos de emisiones por kilómetro. Por último, se ha incluido un apartado donde se puede comparar el coste por kilómetro a partir de la tarifa eléctrica contratada.

Al finalizar el simulador, el usuario podrá generar un archivo PDF donde se incluyen los resultados de la simulación y la curva de demanda resultante.

En el **Anexo I**, el lector puede encontrar el **manual de usuario** ([ir a Manual de usuario](#)) y el diseño de la aplicación desarrollada.

9.1 Caso de estudio (I) con herramienta desarrollada “Simulador del impacto del VE”

Caso de estudio (I) - Parámetros a seleccionar por el usuario:

Curva de demanda

- Perfil de demanda: **Invierno**
- Porcentaje de VE sobre parque automovilístico 2015: **11%**
- Número de VE: **3.053.600**
- Velocidad de recarga: **Lenta**
- Potencia de recarga: **2,3 kW**
- Tiempo de la recarga: **8 horas**
- Simultaneidad de recarga diaria: **90%**
- Desglose de recargas por periodos: **60% valle / 30% llano / 10% punta**

Comparativa económico – medioambiental

- Motor vehículo tradicional: **Diésel**
- Consumo vehículo tradicional: **6L/100km**
- Coste combustible: **1,1 €/L**
- Consumo VE: **15 kWh/100km**
- Tarifa eléctrica seleccionada: **Tarifa Vehículo Eléctrico 3 periodos recargando en periodo supervalle**

Los resultados se muestran en el informe PDF generado, el cual se muestra en la siguiente página.

Se pueden obtener las siguientes conclusiones de la simulación:

- Al usar una tarifa discriminatoria de 3 periodos, se beneficia económicamente al usuario si recarga en horas valle, por lo que resulta una distribución de la recarga no agresiva con el sistema eléctrico, en la que el mayor peso de las recargas está en horas valle, resultando un pequeño porcentaje de las mismas en horas punta, lo cual disminuye considerablemente el ratio valle punta.
- Velocidades de recarga lentas provocan que la recarga se reparta de manera homogénea a lo largo del día, evitando picos de demanda ocasionales que dificulten la operación del sistema eléctrico.
- Se puede observar que el periodo valle admite un número mayor de VE, por lo que la persistencia en políticas que beneficien la recarga nocturna es esencial.
- Sin embargo, la recarga en valle tiene que ir acompañada de bajas potencias, ya que si se efectúan recargas rápidas, surgirán picos en las primeras horas nocturnas, lo cual es perjudicial para el sistema.
- En cuanto al impacto económico, en este caso se enfrentan dos casos opuestos, ya que la Tarifa Vehículo Eléctrico y una recarga nocturna proporciona el menor coste por kWh posible, por lo que se hace patente el ahorro, que en este caso es de aproximadamente de 7 céntimos/km.

Resultados de la simulación (I)

Distribución de la recarga			
Número total de VE	Fracción de VE recargándose a la vez	Velocidad de recarga	Potencia de recarga
3.053.600 VE	2.748.240 VE	Lenta	2,3 kW
Porcentaje de recargas por periodo			
Valle (%)	Llano (%)	Punta (%)	
60	30	10	
Emisiones			
Emisiones mix energético (2015)	Emisiones gasolina	Emisiones diésel	
0,286 KgCO ₂ /kWh	2,3 KgCO ₂ /L	2,6 KgCO ₂ /L	
Consumo VE	Consumo veh. tradicional		
15 kWh/100km	7 L/100km		
Emisiones VE	Emisiones veh. tradicional		
42,9 gCO ₂ /km	182 gCO ₂ /km		
Ratio emisiones			
0,24			
Costes			
Tarifa contratada	Precio	Combustible seleccionado	Precio
Tarifa Vehículo Eléctrico	0,0577 €/kWh	Diésel	1,1 €/L
Consumo VE		Consumo veh. tradicional	
15 kWh/100km		7 L/100km	
Coste por kilómetro		Coste por kilómetro	
0,009 €/km		0,077 €/km	
Ahorro			
0,068 €/km			

Figura 9.1 Resultados (PDF generado) Caso I (Elaboración propia)

Resultados de la simulación (II)

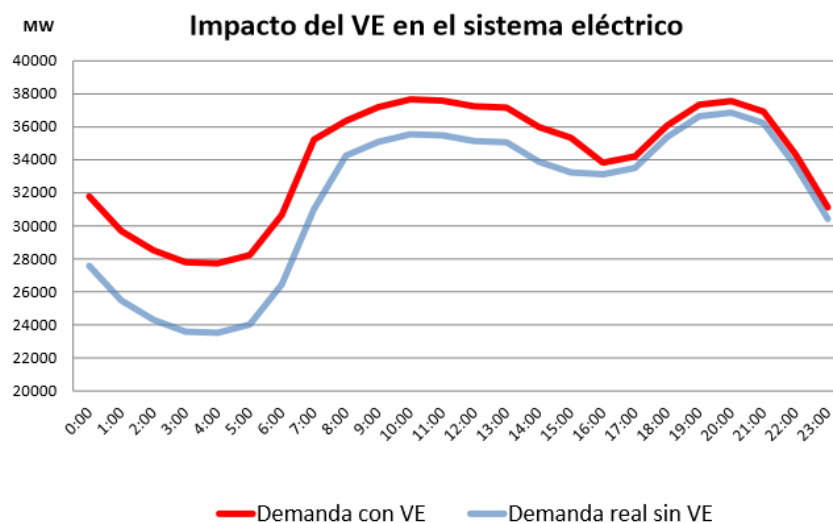


Figura 9.2 Curva demanda (PDF generado) Caso I (Fuente: Elaboración propia)

9.2 Caso de estudio (II) con herramienta desarrollada “Simulador del impacto del VE”

Caso de estudio (II) - Parámetros a seleccionar por el usuario:

Curva de demanda

- Perfil de demanda: [Verano](#)
- Porcentaje de VE sobre parque automovilístico 2015: [11%](#)
- Número de VE: [3.053.600](#)
- Velocidad de recarga: [Semirrápida](#)
- Potencia de recarga: [22 kW](#)
- Tiempo de la recarga: [2 horas](#)
- Simultaneidad de recarga diaria: [90%](#)
- Desglose de recargas por periodos: [30% valle / 35% llano / 35% punta](#)

Comparativa económico – medioambiental

- Motor vehículo tradicional: [Gasolina](#)
- Consumo vehículo tradicional: [7 L/100km](#)
- Coste combustible: [1,2 €/L](#)
- Consumo VE: [15 kWh](#)
- Tarifa eléctrica seleccionada: [Tarifa por defecto 1 periodo](#)

Los resultados se muestran en el informe PDF generado, el cual se muestra en la siguiente página.

Se pueden obtener las siguientes conclusiones de la simulación:

- Si el conjunto de los usuarios usan una tarifa no discriminatoria, como es la “Tarifa por defecto 1 periodo”, no habrá motivación económica para realizar la recarga en periodos valle para beneficiar al sistema. Este hecho repercute en la distribución de la recarga, la cual se muestra mucho más dividida a lo largo del día.
- Adicionalmente, si se adopta una conducta de recarga a velocidad semirrápida, en este caso a 22 kW, resultan periodos de recarga de dos horas.
- Esto provoca concentración de la recarga, surgiendo nuevos picos en las horas críticas de recarga del VE, como son las horas iniciales de la noche, al mediodía a la hora habitual de comer o las horas típicas de regreso de la jornada laboral.
- Estos picos afectan de manera muy negativa a la gestión del sistema eléctrico, ya que requiere de aumentos puntuales de generación de electricidad, muy por encima de los máximos puntos de demanda habituales actualmente, lo que provocará un sobredimensionamiento no lógico del sistema. Serán necesarios todos los mecanismos posibles para evitar esta situación.
- En el caso de utilizar la Tarifa por defecto 1 periodo, el ahorro por kilómetro es menor. En este caso se demuestra este hecho, aunque la diferencia de costes de la gasolina (caso II) y el diésel (caso I) empequeñece este aumento del ahorro causado por la tarifa seleccionada.

Resultados de la simulación (I)

Distribución de la recarga			
Número total de VE	Fracción de VE recargándose a la vez	Velocidad de recarga	Potencia de recarga
3.053.600 VE	2.748.240 VE	Semirápida	22 kW
Porcentaje de recargas por periodo			
Valle (%)	Llano (%)	Punta (%)	
30	35	35	
Emisiones			
Emisiones mix energético (2015)	Emisiones gasolina	Emisiones diésel	
0,286 KgCO ₂ /kWh	2,3 KgCO ₂ /L	2,6 KgCO ₂ /L	
Consumo VE	Consumo veh. tradicional		
15 kWh/100km	7 L/100km		
Emisiones VE	Emisiones veh. tradicional		
42,9 gCO ₂ /km	161 gCO ₂ /km		
Ratio emisiones			
0,27			
Costes			
Tarifa contratada	Precio	Combustible seleccionado	Precio
Tarifa 1 periodo	0,12268 €/kWh	Gasolina	1,2 €/L
Consumo VE		Consumo veh. tradicional	
15 kWh/100km		7 L/100km	
Coste por kilómetro		Coste por kilómetro	
0,018 €/km		0,084 €/km	
Ahorro			
0,066 €/km			

Figura 9.3 Resultados (PDF generado) Caso II (Fuente: Elaboración propia)

Resultados de la simulación (II)

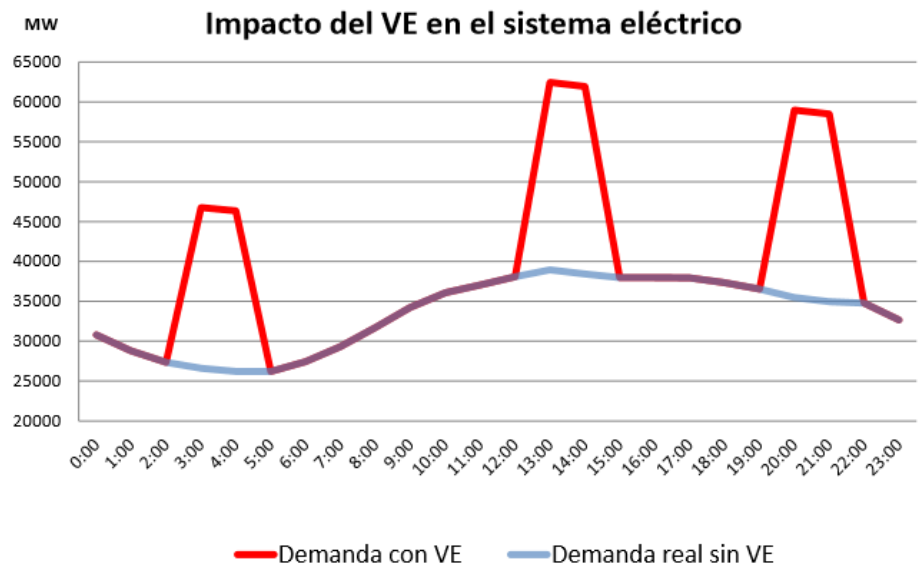


Figura 9.4 Curva demanda (PDF generado) Caso II (Fuente: Elaboración propia)



10 Conclusiones principales y líneas futuras

El objetivo de este TFG ha sido establecer una base sólida y completa del estado del arte del vehículo eléctrico y de los distintos impactos que tiene sobre el sistema eléctrico, para así, tener capacidad de comprender los cambios que supondrá su integración. Al ser un tema en plena fase de crecimiento, la información se actualiza rápidamente, por lo que disponer de información previa que englobe todos los aspectos relacionados con el vehículo eléctrico permitirá tener un mejor juicio de los caminos a seguir para que la integración del VE sea beneficiosa para la sociedad en general.

Se considera cumplido el citado objetivo, ya que el presente documento dota de suficiente información y capacidad de análisis como para tener una opinión objetiva sobre las consecuencias que tendrá la integración del vehículo eléctrico en el sistema eléctrico y en la sociedad, además de conocimientos sobre el desarrollo actual de infraestructura de recarga, las distintas tecnologías que engloban al propio vehículo y el marco regulatorio que afecta al mismo. Adicionalmente, se puede comprobar algunas de las distintas cuestiones planteadas en este TFG a través de la herramienta informática que acompaña a la memoria.

Del estudio del presente TFG se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- La recarga del VE en periodos valle de demanda optimiza la **operación del sistema eléctrico**, ya que la diferencia entre la máxima potencia demandada y la mínima disminuye, optimizando la gestión de los grupos generadores y aumentando la eficiencia del sistema eléctrico en su conjunto. Por el contrario, recargas masivas en periodos punta implicaría un sobredimensionamiento no lógico del sistema.
- La integración del VE crea un marco donde las **energías renovables** podrían aumentar su contribución a la demanda nacional, especialmente por dos razones. La primera es que la recarga del VE podría dar cabida a la generación originada a partir de energía eólica que no tiene cabida en el sistema principalmente por motivos de seguridad o falta de demanda, ya que es frecuente encontrar gran disponibilidad de recurso por la noche. La segunda es que el desarrollo del VE a largo plazo implica la creación de sistemas inteligentes de recarga que permitan la comunicación entre el operador de red y el vehículo, mediante la cual se podría utilizar el VE como acumulador de electricidad de origen renovable para poder utilizarla cuando el sistema lo necesite, aumentando así su contribución a la demanda.
- **Impacto en la red eléctrica:** La recarga lenta nocturna permitirá aprovechar los recursos existentes en la red sin tener que efectuar nuevas inversiones. Sin embargo, de acuerdo con la libertad de uso de la red, el usuario puede efectuar recargas no responsables con la optimización del sistema, en horas punta y a alta potencia. Las posibles inversiones serán en nuevas líneas para usuarios

deslocalizados, aumentos de sección de conductores y aumento de capacidad de transformación en las subestaciones.

- En cuanto a **potencia instalada**, está claramente sobredimensionada, ya que el intervalo de potencia instalada sobrante va desde los 70 a los 85 GW, por lo que la recarga masiva de VE no presenta problemas en este punto.
 - En cuanto a la **red de transporte**, será capaz de integrar un gran número de VE sin inversiones adicionales a las ya planificadas.
 - En la **red de distribución** se centrará la problemática de las recargas no responsables. Las recargas con sistemas inteligentes o en horas nocturnas hacen que sean innecesarias inversiones adicionales en la red. En concreto, serán necesarias inversiones: en los centros de transformación, ya que el margen de potencia disponible será insuficiente para alimentar nudos de consumo donde se efectúen recargas a altas potencias, como electrolineras. En la red de baja tensión, debido a un aumento generalizado de la demanda de potencia en los hogares que permita la recarga del VE en cualquier momento del día, hará que sean necesarias nuevas inversiones en la red más próxima a los consumidores distribuidos en baja tensión. Los refuerzos serán menores pero también necesarios si la recarga se produce de manera concentrada en la red de media tensión. Sin embargo, estos escenarios se plantean a medio plazo debido a que la tecnología de la baterías no admite recargas continuadas a alta potencia.
- Se estudia la parte variable del **precio de la electricidad**, la cual es dependiente directamente del mercado diario. El mercado completa la potencia demandada en cada momento con las tecnologías de generación ofertadas al mínimo precio. Las energías renovables se ofertan a precio nulo o muy bajo, por lo que si la seguridad del sistema lo permite, tienen garantizada su introducción en el mix de generación. Si el VE logra una mayor integración de energía renovable, el precio de la electricidad se abaratará, ya que sustituirán horas de funcionamiento de generadores más caros.
 - La normativa es cada vez más exigente con las **emisiones contaminantes** producidas por los vehículos, por lo que llegará un punto que la solución sea un transporte libre de emisiones en su funcionamiento. Las emisiones producidas por la electricidad lo marca el mix energético, que en promedio en 2015 fue de 286 gCO₂/kWh. Atendiendo a factores de consumo y a parámetros de eficiencia global de ambos tipos de vehículos, resulta un ratio de 1/3 de emisiones de CO₂ favorable al VE. El VE provocará un traslado de las emisiones fuera de los núcleos urbanos, y una reducción de otros gases producidos por los MCI, como NO_x, HC y PM₁₀.

La introducción lenta pero constante del VE hace que sea necesario un **marco regulatorio** propio, donde en este momento destaca:

- Las instituciones, con el fin de optimizar el sistema, crean **tarifas por periodos**, como es el caso de la Tarifa Vehículo Eléctrico, englobada dentro del PVPC, que incentivan con precios bajos al usuario que consume en horas supervalle (1h-7h), penalizando con altos precios los consumos en horas punta.
- La figura del gestor de cargas, al cual se otorga la capacidad de comprar energía para revenderla para su uso en la recarga de VE.
- Planes de subvención a la compra de VE, los cuales son transitorios y será necesaria una mayor presencia en el tiempo para obtener mejores resultados.
- Distintas regulaciones que explican los modos de recarga, los conectores estándar o la tipología de la infraestructura de recarga.

Las líneas futuras de investigación se centrarán en analizar los distintos sistemas de recarga inteligente que se vayan desarrollando, así como el efecto que produce su acople al sistema eléctrico. Las evoluciones en baterías tanto en autonomía como en costes serán puntos diferenciales para que el VE se asiente definitivamente. A partir de ahí, habrá que analizar la puesta en marcha de las medidas estudiadas, para observar si se cumplen los objetivos de optimización del sistema eléctrico. Las distintas situaciones que surjan proporcionarán mayor información para posteriores estudios.

A nivel personal, la realización de este TFG da por satisfecho mi afán de conocimiento sobre las nuevas tecnologías aplicadas al transporte, en concreto al automóvil. Dado que el vehículo eléctrico es la evolución natural del vehículo impulsado por motor de combustión interna, analizar los pasos que supone la integración del VE a gran escala me ha supuesto enfrentarme con la realidad de cualquier gran cambio tecnológico, que no es otra que no basta con un modelo aparentemente ideal para la sociedad, sino que la dependencia de múltiples factores hace que suponga cambios en grandes áreas, como es el sistema eléctrico en este caso. Cambios que conviene estudiar con detenimiento para guiar la penetración del VE hacia la optimización de los recursos existentes y la maximización de los beneficios para la sociedad.

11 Planificación y programación

El desarrollo del Trabajo Fin de Grado ha estado compuesto de las siguientes fases:

- Estudio de:
 - Estructura del sistema eléctrico español.
 - Operación del sistema eléctrico, funciones y comportamiento del Operador del Sistema.
 - Mercado eléctrico.
 - Proceso de formación y componentes del precio de la electricidad.
- Análisis de los componentes del VE que pueden afectar al impacto en el sistema eléctrico.
 - Motor eléctrico
 - Baterías
 - Conectores
- Realización de un estudio interpretando los impactos en las distintas áreas relacionadas con el sistema eléctrico.
 - Operación del sistema eléctrico.
 - Integración de las energías renovables.
 - Red de distribución.
 - Impacto económico en el precio de la electricidad.
 - Impacto en el medio ambiente de la sustitución de las emisiones provenientes del motor de combustión interna por las emisiones de la generación de electricidad.
 - Como información adicional, se ha realizado un estudio sobre el panorama general del parque automovilístico en relación a las ventas de VE.
- Recopilación de las leyes más destacadas que afectan al vehículo eléctrico.
- Diseño y desarrollo de la aplicación informática.
 - Aprendizaje del lenguaje de programación *Visual Basic for Applications* (VBA).
 - Fase de programación de la herramienta.
 - Fase de pruebas.
- Elaboración de la memoria.

Se ha realizado el Diagrama de Gantt del TFG a partir de la planificación anterior. Se ha usado el programa informático Gantt Project.

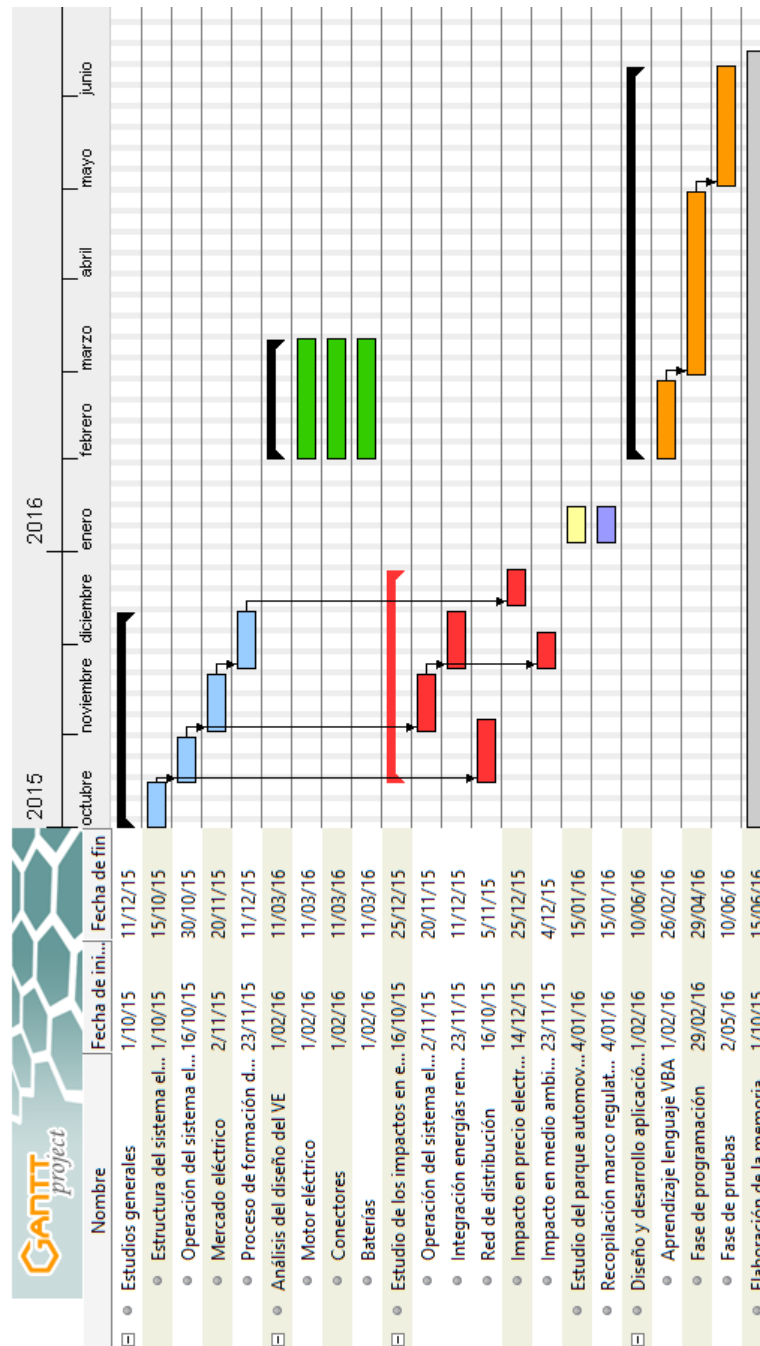


Figura 11.1 Diagrama de Gantt del TFG

12 Presupuesto

A continuación se desarrolla el presupuesto de la ejecución del presente TFG.

Se ha realizado durante 8 meses a un promedio de 3 horas al día, los días laborables. Por lo tanto, el número de horas asignadas al proyecto ha sido:

$$T_{\text{proyecto}} = \frac{3h}{\text{día}} * \frac{5\text{días}}{\text{semana}} * \frac{4\text{semanas}}{\text{mes}} * 8\text{meses} = 480 \text{ horas}$$

Se ha considerado que los honorarios de un ingeniero recién licenciado con la cualificación necesaria para realizar este informe es de 12€/hora.

Se incluye en el presupuesto la amortización del material informático utilizado, el cual se compone de un ordenador (500€), licencias de la ofimática utilizada (75€) y conexión a internet (20€/mes). Se considera que la vida útil los equipos informáticos utilizados es de 3 años (36 meses) y la renovación de las licencias es cada año (12 meses).

$$\text{Amortización mensual material informático} = 500 * \frac{1}{36} + 75 * \frac{1}{12} = 20,14 \frac{\text{€}}{\text{mes}}$$

1. Descripción del proyecto

Título	INTEGRACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL
Duración	8 meses

2. Presupuesto total del proyecto

7.164,55 €

3. Desglose de cantidades

Personal				
Apellidos, Nombre	Categoría profesional	Honorarios (€/h)	Duración total (h)	Coste (€)
Martín Escolar, David	Ingeniero Junior	12	480	5.760,00 €
Equipos				
Descripción	Coste amortización (€/mes)	Número de meses	Coste total (€)	
Amortización material informático	20,14	8	161,12 €	

4. Resumen

Personal	5.760,00 €
Equipos	161,12 €
IVA	21%
Total	7.164,55 €

Tabla 12.1 Presupuesto del proyecto (Fuente: Elaboración propia)

13 Bibliografía

A continuación se muestran las referencias numeradas a la bibliografía incluidas en los pies de página a lo largo del documento:

1. **European Comission.** *Eurostat Database.* 2015.
2. **Ministerio de Industria, Energía y Turismo.** *Consumos del Sector Residencial en España.*
3. **Red Eléctrica de España.** Esios. [En línea] <https://www.esios.ree.es/es>
4. **Red Eléctrica de España.** *La operación del sistema eléctrico.* s.l. : HUERTAS, 2013
7. **Rippel, Wally.** *Induction versus DC Brushless Motors.* Principal Power Electronics Engineer, Tesla. 2007.
8. **Boletín Oficial del Estado.** *Real Decreto 710/2015, de 24 de Julio, por el que se modifica el Real Decreto 106/2008, de 1 de Febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.* 2008.
9. **Anup Bandivadekar, Kristian Bodek, Lynette Cheah, Christopher Evans, Tiffany Groode, John Heywood, Emmanuel Kasseris, Matthew Kromer, Malcolm Weiss.** *On the Road in 2035: Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions.* Cambridge, Massachusetts : s.n.
10. *Real Decreto 15/2016, de 15 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1078/2015, de 27 de noviembre, por el que se regula la concesión directa de ayudas para la adquisición de vehículos de energías alternativas, y para la implantación de puntos.* 2016
11. **Electro Maps.** [En línea] www.electromaps.com.
12. **Red Eléctrica de España.** Red 21. [En línea] <http://www.ree.es/es/red21>.
13. **Endesa.** *Condiciones técnicas y de seguridad de las instalaciones de distribución de Fecsa Endesa.* 2006.
14. **HC Energía Grupo EDP.** *La entrada del vehículo eléctrico en las redes de distribución.*
15. **Pablo Frías, Carlos Mateo y José Ignacio Pérez-Arriaga.** *Evaluación del impacto de la integración del coche eléctrico en las redes de distribución de energía eléctrica.* Universidad Pontificia de Comillas.
16. **IDAE.** *Mapa Tecnológico Movilidad Eléctrica.* 2012
17. **Seat España.** Seat. [En línea] <http://www.seat.es/coches/leon-5-puertas/modelo.html>.
18. **AutoBild.** [En línea] <http://www.autobild.es>.
19. **International Energy Agency (IEA).** *Gloval EV Outlook 2015.* Paris : s.n., 2015.
20. **EVvolumes.** EVvolumes.com. [En línea] [Citado el: Abril de 2016.]
21. *Ley 19/2009, de 23 de noviembre, de medidas de fomento y agilización procesal del alquiler y de la eficiencia energética de los edificios.* 2009.
22. *Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética.* 2011.
23. *Artículo 4 del Real Decreto 1074/2015, de 27 de noviembre, por el que se modifican distintas disposiciones en el sector eléctrico.* 2015.

24. *Directiva 2014/25/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014 relativa a la contratación por entidades que operan en los sectores del agua, la energía, los transportes y los servicios postales y por la que se deroga la Directiva . 2014.*
25. *Real Decreto 1053/2014, por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 «Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos», del Reglamento electrotécnico para baja tensión. 2014.*

Se han establecido las siguientes referencias como base en la realización de este TFG:

- **International Energy Agency.** *Energy Policies of IEA Countries Spain.* Paris : ISI Print, 2015.
- **TecnoEbro, CDTI, SERNAUTO.** *Spanish Capabilities in the Eco-electro Road Movility Sector and the FP7 Green Cars Initiative.* s.l. : Gráficas Larrad, 2009.
- **Matthew A.Kromer, John B. Heywood.** *Electric Powertrains: Opportunities and challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet.* Cambridge, Massachusetts : s.n., 2007.
- **Red Eléctrica de España.** *Avance informe sistema eléctrico español 2015*
- **Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.** *Guía del vehículo eléctrico II.* Madrid : Arias Montano, 2015.
- **Gas Natural Fenosa.** *Proyecto Domocell.* 2009.
- **Endesa.** Endesa Vehículo Eléctrico. [En línea] www.endesavehiculoelectrico.com.
- **Ministerio de Industria, Energía y Turismo.** Distribuidores, comercializadores, consumidores directos en mercado y gestores de cargas. [En línea] www.minetur.gob.es.
- **Energía y Sociedad.** [En línea] 2015. [Citado el: 1 de Abril de 2016.] <http://www.energiaysociedad.es/tipo/manual-de-la-energia>.

Anexo I – Herramienta informática

Acompañando a la presente memoria, se encuentra el archivo Excel donde se halla la aplicación informática desarrollada. A continuación se explica su funcionamiento.

Manual de usuario de la Aplicación

En primer lugar, en la portada el usuario podrá ver el botón de inicio de la aplicación.



Figura 0.1 Simulador Impacto VE I (Fuente: Elaboración propia)

Hay que tener en cuenta que para poder acceder a la aplicación hay que tener activadas las macros en nuestro programa Excel. En un primer momento, el programa Excel avisará al usuario con una advertencia de activar las macros. Este aviso se muestra en la portada. En caso de que no se muestre el aviso, el usuario podrá conocer como activar las macros haciendo click sobre el hipervínculo “Pulse aquí para conocer las maneras de habilitar las macros”. Este hipervínculo es un enlace a la pestaña llamada “Habilitar Macros”, la cual se muestra a continuación (Figuras 0.2 y 0.3):

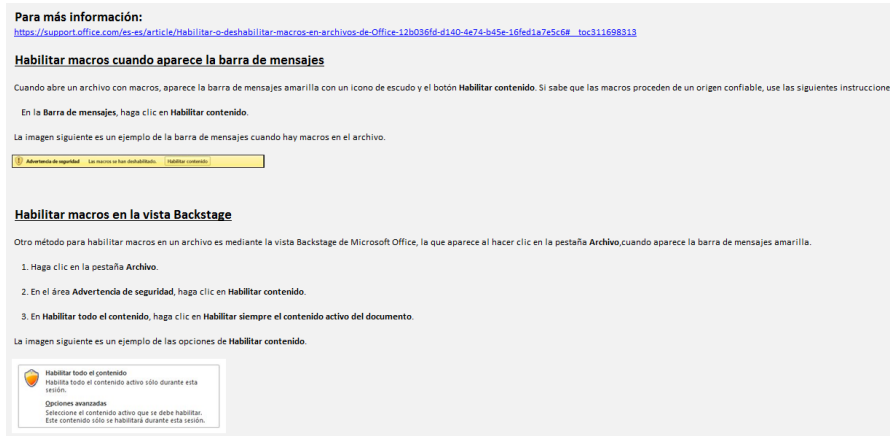


Figura 0.2 Habilitar macros I (Fuente: Elaboración propia)

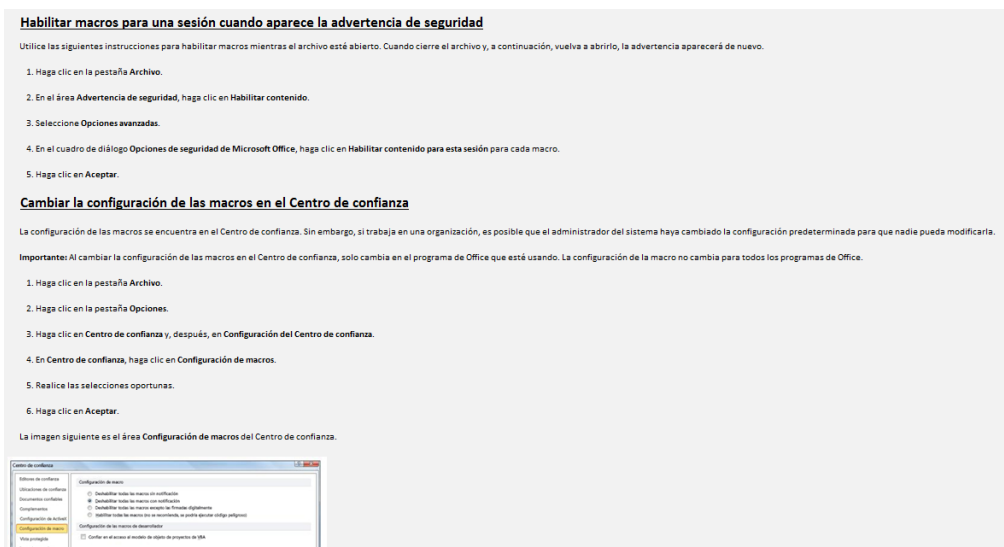


Figura 0.3 Habilitar macros II (Fuente: Elaboración propia)

En esta pestaña el usuario encontrará toda la información necesario en caso de necesite información extra de como habilitar las macros.

Una vez activadas las macros, el usuario podrá pulsar el botón “Simulador Impacto Vehículo Eléctrico – INICIO” para comenzar a utilizar la aplicación. La primera ventana que aparece es una bienvenida al simulador.



Figura 0.4 Simulador Impacto VE II (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, el usuario deberá elegir el perfil de demanda base. Esta elección influirá en las horas consideradas como punta, ya que cada estación tiene sus particularidades de consumo.

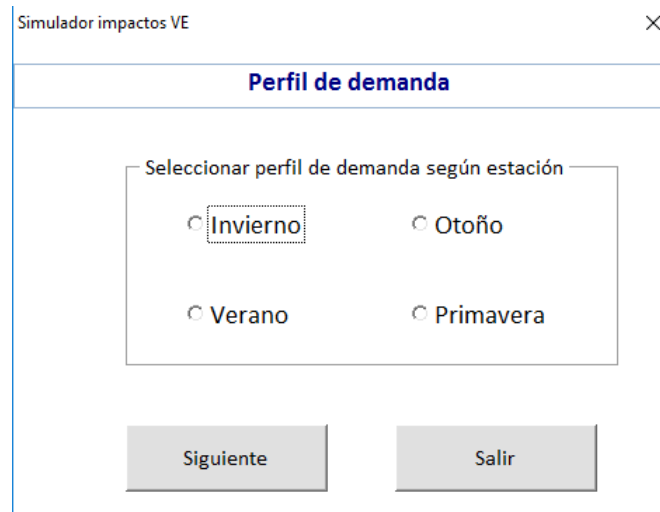


Figura 0.5 Simulador Impacto VE III (Fuente: Elaboración propia)

En caso de que el usuario crea conveniente cambiar las curvas de demanda por defecto, o simplemente quiera analizar un día en concreto, podrá hacerlo mediante:

1. Acceder a la web de la base de datos de REE www.esios.ree.es
2. En el apartado “Generación y consumo”, seleccionar “Analizar indicador”.
3. Seleccionar el día deseado y mediante el botón “Exportación”, se descargará un libro Excel con los valores de demanda horaria requeridos.
4. Acceder al libro Excel de la Aplicación, y en la pestaña “Perfil demanda”, cambiar los valores presentes por aquellos en los que el usuario esté interesado.

En el siguiente formulario, se pide al usuario que introduzca el porcentaje de vehículos eléctricos dentro del parque automovilístico total que quiere estudiar. Mediante la barra móvil se irá variando el porcentaje de VE; el número exacto aparece en la casilla inferior. El dato del parque automovilístico en 2015 es 27.760.000 vehículos matriculados en España, según datos de ANFAC.

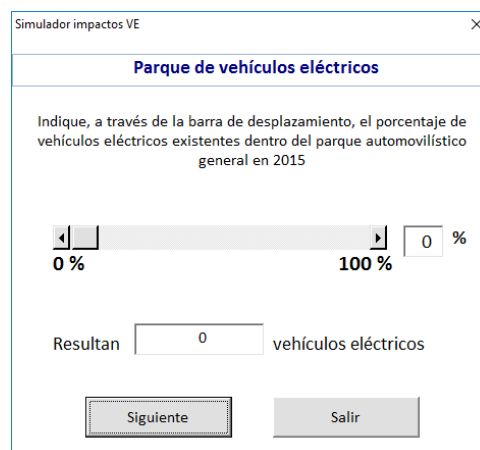


Figura 0.6 Simulador Impacto VE IV (Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente ventana, el usuario debe establecer la velocidad de recarga que efectuará al conjunto de los vehículos. A continuación se muestra un resumen de los valores utilizados:

- Lenta: Potencia de 2,3 kW y 8 horas de tiempo de recarga.
- Normal: Potencia de 3,6 kW y 6 horas de tiempo de recarga.
- Semirrápida: Potencia de 22 kW y 2 horas de tiempo de recarga.
- Rápida: Potencia de 40 kW y 1 hora de tiempo de recarga.

Figura 0.7 Simulador Impacto VE V (Fuente: Elaboración propia)

Una vez que se ha elegido la potencia a la que se va a someter la red, hay que conocer las horas donde se va a aplicar dicho incremento de potencia. Se han agrupado las horas en tres periodos representativos en función de la cantidad de demanda habitual existente en dichas horas:

- Horas valle: De 0h a 7h.
- Horas llano: De 8h a 13h.
- Horas punta: de 13h a 23h.

Estos intervalos son flexibles, ya que cada estación tiene sus picos de demandas en horas distintas:

- Punta invierno: 20h
- Punta verano: 13h
- Punta otoño: 21h
- Punta primavera: 21 h

El usuario tendrá la opción de elegir un coeficiente de simultaneidad, es decir, de analizar un determinado número de VE recargándose al mismo tiempo, ya que es altamente probable que un mismo día no se estén cargando todos los vehículos existentes.

Periodos de recarga y simultaneidad

Dado que el total de VE existentes no se van a recargar el mismo día, indique, a través de la barra de desplazamiento, el porcentaje de vehículos que están recargándose en el día de estudio

0 %

Escriba el porcentaje de VE que se recargan en cada periodo

Horas valle	Horas llano	Horas punta
<input type="text" value="0"/> %	<input type="text" value="0"/> %	<input type="text" value="0"/> %

Figura 0.8 Simulador Impacto VE VI (Fuente: Elaboración propia)

En este momento se mostrará el impacto en la curva de demanda, el cual se muestra en la Figura 0.9.

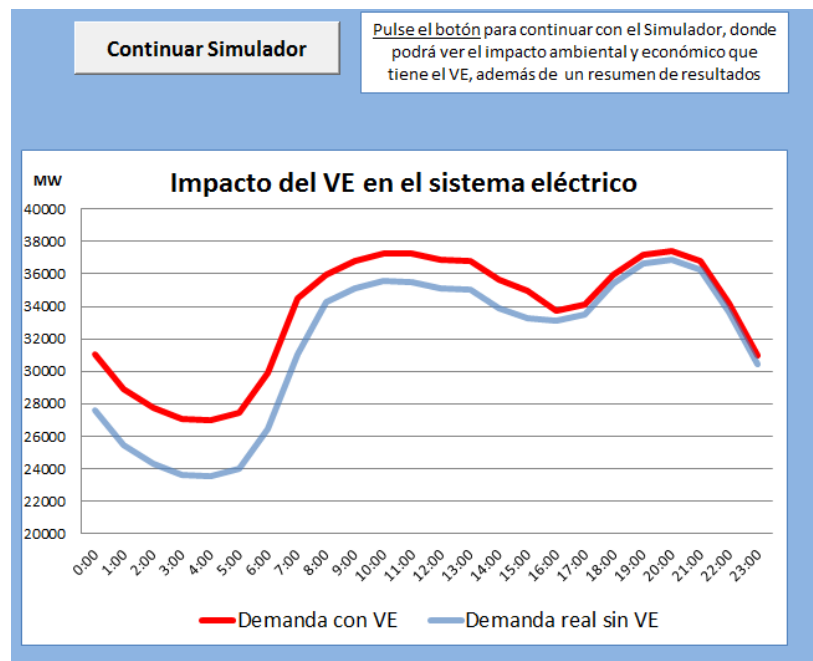


Figura 0.9 Simulador Impacto VE VII (Fuente: Elaboración propia)

En color azul se muestra la curva de demanda de un día estándar de la estación seleccionada. En color rojo se muestra el incremento de demanda que supondría la integración del vehículo eléctrico, la cual depende de:

- Número de VE existentes.
- Potencia del conector.
- Velocidad de recarga aplicada.
- Precio horario de la electricidad.
- Porcentaje de VE recargándose a la vez (simultaneidad).

Puede darse el caso en que la demanda con VE no cubra las 24 h del día, esto es debido a que la duración de la recarga es menor de 8h en cada periodo horario.

En este momento, para continuar con el Simulador, hay que pulsar el botón “Continuar Simulador”. Se iniciará la segunda parte del simulador donde se ofrece una comparativa entre el vehículo tradicional y el VE en materia económica y medioambiental.

Simulador impactos VE

Parámetros comparativa (I)

Indique los siguientes parámetros para realizar una comparativa entre el vehículo eléctrico y el vehículo tradicional

Tipo de motor

☐ Gasolina ☐ Diésel

Puede optar por continuar con los consumos establecidos por defecto o variar su valor

Consumos por defecto

Motor gasolina: 7L/km
Motor diésel: 6L/km
Motor eléctrico: 15 kWh/km

Consumo del motor gasolina

L/100 km

Consumo del motor diésel

L/100 km

Consumo del motor eléctrico

kWh/100 km

Figura 0.10 Simulador Impacto VE VIII (Fuente: Elaboración propia)

En este formulario (Figura 0.10) el usuario debe elegir con qué tipo de motor de combustión interna quiere hacer la comparativa, si gasolina o diésel. Además, se ofrecen unos consumos por defecto que el usuario podrá variar si lo desea.

A continuación, el usuario debe seleccionar el tipo de tarifa de electricidad que aplicará a la recarga del vehículo eléctrico, y en qué periodo del día quiere recargar su vehículo, ya que de ello depende el coste de la electricidad. Adicionalmente, se ofrecen unos valores por defecto del precio de la gasolina y el diésel que el usuario podrá modificar si lo desea.

Simulador impactos VE

Parámetros comparativa (II) - Tarifa eléctrica contratada

Precio Voluntario del Pequeño Consumidor (PVPC)

Las tarifas fluctúan en función del momento del día donde se efectúe la recarga

Seleccionar un tipo de tarifa dentro del PVPC

Tarifa Vehículo Eléctrico
Peaje 2.0 DHS

Tarifa 2 periodos
Peaje 2.0 DHA

Tarifa por defecto
Peaje 2.0 A

☐ Tarifa VE recargando en horas supervalle
 ☐ Tarifa 2 periodos recargando en horas valle
 ☐ Tarifa por defecto (periodo único)

☐ Tarifa VE recargando en horas valle
 ☐ Tarifa 2 periodos recargando en horas punta

☐ Tarifa VE recargando en horas punta

Indique el precio de la gasolina o el diésel, si está disconforme con los valores por defecto

Precio gasolina €/L Precio diésel €/L

Figura 0.11 Simulador Impacto VE IX (Fuente: Elaboración propia)

Una vez completados todos los formularios, la aplicación generará una ventana de resultados. Esta ventana se divide en 3 pestañas donde se exponen los resultados referentes a la **distribución de la recarga**, las **emisiones** y los **costes**:

Resultados simulador

Resultados simulación

Publicación de resultados

Distribución de la recarga | Emisiones | Costes

Número total de VE vehículos eléctricos

Porcentaje de VE recargándose a la vez vehículos eléctricos

Periodos horarios

VE recargando en valle vehículos eléctricos

VE recargando en llano vehículos eléctricos

VE recargando en punta vehículos eléctricos

Velocidad de recarga

Potencia de recarga kW

Nota: Si NO es la primera vez que genera el PDF, debe cerrar el anterior para poder generar un nuevo informe

Resultados simulador

Resultados simulación

Publicación de resultados

Distribución de la recarga | Emisiones | Costes

Emisiones mix energético KgCO₂/kWh

Emisiones gasolina KgCO₂/L

Emisiones diésel KgCO₂/L

Consumo VE kWh/100km

Consumo vehículo tradicional (gasolina/diésel según elección inicial) L/100km

Emisiones producidas con VE gCO₂/km

Emisiones producidas con vehículo tradicional gCO₂/km

Ratio emisiones

Nota: Si NO es la primera vez que genera el PDF, debe cerrar el anterior para poder generar un nuevo informe

Resultados simulador

Resultados simulación

Publicación de resultados

Distribución de la recarga | Emisiones | Costes

Tarifa contratada

Coste combustible (gasolina/diésel según elección inicial) €/L

€/kWh

Consumo VE kWh/100km

Consumo vehículo tradicional L/100km

Coste por Km VE €/Km

Coste por Km vehículo tradicional €/Km

Ahorro €/Km

Nota: Si NO es la primera vez que genera el PDF, debe cerrar el anterior para poder generar un nuevo informe

Figura 0.12 Simulador Impacto VE X (Fuente: Elaboración propia)

Destacan los siguientes resultados:

- Resumen de los parámetros elegidos que han afectado a la curva de la demanda.
- El precio por kWh consumido dependiendo de la tarifa elegida anteriormente.

- Dado un consumo determinado, el coste por kilómetro recorrido de ambos tipos de vehículos, con lo que se aporta una cifra de ahorro.
- Las emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido, a partir de las emisiones del mix energético resultante a final de 2015 y una comparación con las emisiones producidas por la gasolina y el diésel por kilómetro recorrido.
- Ratio de emisiones entre VE y vehículo tradicional.

$$\text{Ratio emisiones} = \frac{\text{Emisiones CO}_2 \text{ VE}}{\text{Emisiones CO}_2 \text{ Veh. tradicional}}$$

Una vez, finalizado el simulador, el usuario tendrá opción de crear un archivo PDF con los resultados. El PDF se creará bajo el nombre “Resultados Simulación” y se guardará automáticamente en el mismo directorio donde se halle el archivo Excel de la aplicación.

El documento PDF consta de dos páginas. Tendrá por encabezado a la izquierda la fecha y hora de la generación del PDF y a la derecha la ubicación del archivo dentro del ordenador del usuario. A continuación se muestra un ejemplo:

APLICACIÓN SIMULADOR IMPACTO VE

10/06/2016 12:56

INTEGRACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

C:\Users\David\Desktop\TFG APLICACIÓN\

Resultados de la simulación (I)

Distribución de la recarga

Número total de VE	Fracción de VE recargándose a la vez	Velocidad de recarga	Potencia de recarga
3.053.600 VE	2.076.448 VE	Normal	3,6 kW
Porcentaje de recargas por periodo			
Valle (%)	Llano (%)	Punta (%)	
75	10	15	

Emisiones

Emisiones mix energético (2015)		Emisiones gasolina	Emisiones diésel
0,286 KgCO2/kWh		2,3 KgCO2/L	2,6 KgCO2/L
Consumo VE		Consumo veh. tradicional	
15 kWh/100km		6 L/100km	
Emisiones VE		Emisiones veh. tradicional	
42,9 gCO2/km		156 gCO2/km	
Ratio emisiones			
0,28			

Costes

Tarifa contratada	Precio	Combustible seleccionado	Precio
Tarifa 2 periodos	0,14476 €/kWh	Diésel	0,9 €/L
Consumo VE		Consumo veh. tradicional	
15 kWh/100km		6 L/100km	
Coste por kilómetro		Coste por kilómetro	
0,021714 €/km		0,054 €/km	
		Ahorro	
		0,032 €/km	

David Martín Escolar

1

David Martín Escolar

1

Figura 0.13 Informe PDF generado I (Fuente: Elaboración propia)

Resultados de la simulación (II)

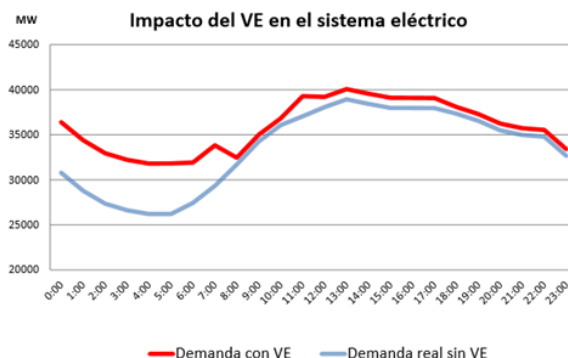


Figura 0.14 Informe PDF generado II (Fuente: Elaboración propia)

Nota importante: La aplicación no puede generar un PDF, si la vista previa del anterior PDF generado sigue abierto, por lo que debe cerrar la vista previa para poder generar un nuevo PDF con los resultados de la simulación.

Diseño

La aplicación está desarrollada en lenguaje de programación *Visual Basic for Applications* (VBA) en su versión de 2010. Las razones para la elección del lenguaje Visual Basic para este desarrollo han sido su interfaz de programación, la posibilidad de combinar la aplicación con hojas de Excel que faciliten la manipulación de los datos, y las grandes posibilidades que otorga un lenguaje dirigido a objetos, en los cuales se puede programar de forma diferenciada para cada uno de los objetos. Una vez creado el lenguaje, éste se convierte en una macro de Excel vinculada a un libro del mismo programa.

No se ha considerado mostrar el código de programación en la presente memoria debido a que la longitud del documento se extendería en exceso. Sin embargo, se puede consultar en el archivo Excel que acompaña a la memoria. El código se encuentra dividido en un total de 9 UserForm (uno por cada ventana que se abre en la aplicación) y 3 Macros (que dan acceso a través de botones a los UserForm).

A continuación se explica la **base de cálculo del programa**, que son un total de cuatro hojas de cálculo de Excel.

Hoja de cálculo “Datos eléctricos”

Hora	Demanda real sin VE	Número de VE	Potencia demandada (kW)	Potencia demandada (MW)	Demanda con VE	Porcentaje VE según periodo	NúmeroVE por periodo
0:00	30786	3053600	3,6	0,00252	36942	80	2442880
1:00	28790	3053600	3,6	0,00252	34946	80	2442880
2:00	27351	3053600	3,6	0,00252	33507	80	2442880
3:00	26613	3053600	3,6	0,00252	32769	80	2442880
4:00	26205	3053600	3,6	0,00252	32361	80	2442880
5:00	26207	3053600	3,6	0,00252	32363	80	2442880
6:00	27435	3053600	3,6	0,00252	27435	0	0
7:00	29338	3053600	3,6	0,00252	29338	0	0
8:00	31711	3053600	3,6	0,00252	33250	20	610720
9:00	34254	3053600	3,6	0,00252	35793	20	610720
10:00	36082	3053600	3,6	0,00252	37621	20	610720
11:00	37045	3053600	3,6	0,00252	37045	0	0
12:00	38076	3053600	3,6	0,00252	38076	0	0
13:00	38936	3053600	3,6	0,00252	38936	0	0
14:00	38425	3053600	3,6	0,00252	38425	0	0
15:00	37981	3053600	3,6	0,00252	37981	0	0
16:00	37974	3053600	3,6	0,00252	37974	0	0
17:00	37957	3053600	3,6	0,00252	37957	0	0
18:00	37344	3053600	3,6	0,00252	37344	0	0
19:00	36543	3053600	3,6	0,00252	36543	0	0
20:00	35485	3053600	3,6	0,00252	35485	0	0
21:00	34974	3053600	3,6	0,00252	36513	20	610720
22:00	34792	3053600	3,6	0,00252	36331	20	610720
23:00	32666	3053600	3,6	0,00252	34205	20	610720

Figura 0.15 Hoja de cálculo "Datos eléctricos" I (Fuente: Elaboración propia)

En esta hoja de cálculo están los parámetros eléctricos que serán la base para la comparación entre las curvas de demanda. En concreto, se toma como base la curva de demanda que ofrece REE en su página web e-sios, cuya referencia aparece repetidamente en este TFG.

En primer lugar, se encuentran las distintas horas que conforman un día completo, y para cada hora habrá un dato de demanda eléctrica. La demanda eléctrica se divide en dos columnas distintas, una para el perfil de demanda sin efectos del vehículo eléctrico y otra que incluye la integración del VE.

En el caso del perfil sin VE, el usuario tendrá opción de elegir entre perfiles de invierno, verano, primavera u otoño, dado que presentan diferencias representativas entre ambos. Los datos se han obtenido de la información publicada por REE:

Número de vehículos eléctricos	Tipo de recarga	Periodo de recarga	Simultaneidad		Estación
			Carga	Recargas a la vez	
3053600	2		0,1	0,7	2
Número de vehículos simultaneidad					
2137520					
Número de vehículos eléctricos (MILES)					
3053,6					
Número de vehículos simultaneidad (MILES)					
2137,52					

Figura 0.16 Hoja de cálculo "Datos eléctricos" II (Fuente: Elaboración propia)

En la segunda parte de la hoja de cálculo (Figura 0.17) están las celdas habilitadas para convertir las decisiones del usuario en la aplicación en valores numéricos válidos para una programación eficiente.

En concreto, se tiene el número de vehículos eléctricos calculados a partir de un porcentaje seleccionado en la aplicación, el número de vehículos recargándose al mismo tiempo, el tipo de recarga a seleccionar por el usuario, el periodo de recarga, el estado de las baterías del vehículo eléctrico seleccionado por el usuario, el porcentaje de recargas simultáneas y el tipo de estación elegido.

Hoja de cálculo "Perfil demanda"

Datos correspondientes al perfil de demanda considerado como estándar para cada una de las estaciones que representan:

- Invierno (13/01/16)
- Verano (23/07/15)
- Primavera (20/04/16)
- Otoño (30/09/15)

VERANO	23/07/2015	INVIERNO	13/01/2016	OTOÑO	30/09/2015	PRIMAVERA	20/04/2016
30786	0:00:00	27579	0:00:00	24686	0:00:00	23086	0:00:00
28790	1:00:00	25486	1:00:00	23572	1:00:00	21620	1:00:00
27351	2:00:00	24314	2:00:00	22577	2:00:00	20776	2:00:00
26613	3:00:00	23581	3:00:00	22441	3:00:00	20412	3:00:00
26205	4:00:00	23520	4:00:00	22225	4:00:00	20377	4:00:00
26207	5:00:00	24019	5:00:00	22632	5:00:00	20947	5:00:00
27435	6:00:00	26459	6:00:00	24310	6:00:00	23366	6:00:00
29338	7:00:00	31026	7:00:00	27820	7:00:00	26628	7:00:00
31711	8:00:00	34264	8:00:00	29435	8:00:00	28959	8:00:00
34254	9:00:00	35094	9:00:00	29989	9:00:00	30194	9:00:00
36082	10:00:00	35560	10:00:00	30641	10:00:00	30671	10:00:00
37045	11:00:00	35494	11:00:00	30979	11:00:00	30705	11:00:00
38076	12:00:00	35148	12:00:00	31387	12:00:00	30895	12:00:00
38936	13:00:00	35069	13:00:00	31273	13:00:00	30863	13:00:00
38425	14:00:00	33891	14:00:00	30222	14:00:00	29938	14:00:00
37981	15:00:00	33243	15:00:00	29434	15:00:00	29133	15:00:00
37974	16:00:00	33126	16:00:00	29495	16:00:00	28945	16:00:00
37957	17:00:00	33510	17:00:00	29659	17:00:00	28784	17:00:00
37344	18:00:00	35388	18:00:00	29512	18:00:00	28432	18:00:00
36543	19:00:00	36645	19:00:00	29579	19:00:00	28148	19:00:00
35485	20:00:00	36873	20:00:00	31924	20:00:00	29010	20:00:00
34974	21:00:00	36230	21:00:00	32037	21:00:00	31494	21:00:00
34792	22:00:00	33634	22:00:00	28959	22:00:00	29575	22:00:00
32666	23:00:00	30423	23:00:00	26476	23:00:00	26722	23:00:00

Figura 0.17 Hoja de cálculo "Perfil demanda" (Fuente: Elaboración propia)

Hoja de cálculo "Datos económicos ambientales"

En esta hoja de cálculo están los datos y los cálculos para poder realizar las comparaciones entre el VE y el vehículo tradicional:

- Coste por kilómetro recorrido.
- Emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido.
- Ratio emisiones.

El dato de emisiones de CO₂ correspondientes al VE ha sido calculado a partir del mix energético de 2015.

	Motor gasolina	Motor diesel	VE puro
Consumo kWh/100km o L/100km	7	6	15
Consumo por km	0,07	0,06	0,15
Coste €/kWh o €/L	1,1	0,9	0,0577
€/km	0,077	0,054	0,008655
KgCO ₂ /kWh o KgCO ₂ /L	2,3	2,6	0,286
gCO ₂ /L o gCO ₂ /kWh	2300	2600	286
gCO ₂ /km	161	156	42,9
Diferencia emisiones	118,1	113,1	
Ahorro por km	0,068345	0,045345	

	Motor gasolina	Motor diesel	VE puro
km realizados al año	10000	10000	10000
Coste combustible al año	11000	9000	577
Emisiones al año	1610000	1560000	429000
Ratio	0,266459627	0,275	
Diferencia precio consumo	1,0423	0,8423	

Figura 0.18 Hoja de cálculo "Datos compra" (Fuente: Elaboración propia)

Hoja de cálculo “Tarifa electricidad”

En esta hoja de cálculo están los valores de los tres tipos de tarifas a las que se puede acoger un consumidor que opte por la tarifa general PVPC (Precio Voluntario al Pequeño Consumidor). Estos valores han sido extraídos de la aplicación de REE e-sios, y corresponden a la media anual de 2015. Los detalles del PVPC están explicados en el Capítulo 7.4.1.

PVPC 2015 - Término de facturación de energía activa (€/MWh)								
Tarifa VE			Tarifa 2 periodos			Tarifa por defecto		
Punta	Peaje acceso	62,01	Punta	Peaje acceso	62,01	Único periodo	Peaje acceso	44,02
	Energía	84,11		Energía	82,75		Energía	78,66
	Total	146,12		Total	144,76		Total	122,68
Valle	Peaje acceso	2,87	Valle	Peaje acceso	2,21		Precio elegido	
	Energía	71,53		Energía	62,66		0,0577	
	Total	74,4		Total	64,87		Tarifa elegida	
Supervalle	Peaje acceso	0,88					1	
	Energía	56,82						
	Total	57,7						

Figura 0.19 Hoja de cálculo "Tarifa electricidad" (Fuente: Elaboración propia)